



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO REUSO DA ÁGUA DOS
CONDENSADORES BAROMÉTRICOS COM RECURSO ÀS TORRES DE
RESFRIAMENTO**

(Estudo de Caso: ***Tongaat Hulett***: Açucareira de Moçambique, SA–Mafambisse)



Autor:

PINIFOLO, Joaquim Inácio Joaquim

Supervisor da FENG:

Prof. Doutor Borges Chambal, Engº

Supervisor da Empresa:

Engº Zacarias Garrine

Maputo, abril de 2024

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO REUSO DA ÁGUA DOS
CONDENSADORES BAROMÉTRICOS COM RECURSO ÀS TORRES DE
RESFRIAMENTO**

(Estudo de Caso: *Tongaat Hulett: Açucareira de Moçambique, SA-Mafambisse*)

Autor:

PINIFOLO, Joaquim Inácio Joaquim

Supervisor da FENG:

Prof. Doutor Borges Chambal, Engº

Supervisor da Empresa:

Engº Zacarias Garrine

Maputo, abril de 2024

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante **Joaquim Inácio Joaquim Pinifolo** entregou no dia __ / __ /2024 as __ cópias do relatório do seu estágio profissional com a referência: _____ intitulado: **Avaliação da sustentabilidade do reuso da água dos condensadores barométricos com recurso às de torres de resfriamento. (Estudo de Caso: Tongaat Hulett: Açucareira de Moçambique, SA–Mafambisse).**

Maputo, __ de _____ de 2024

A Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Joaquim Inácio Joaquim Pinifolo, declaro por minha honra que este relatório de estágio profissional é obra da minha autoria e que nunca foi apresentada ou publicada, parcialmente ou integralmente e nem aceite em alguma instituição para obtenção de qualquer grau acadêmico e que constitui o resultado da minha investigação. Estudos de outras pessoas foram usados na compilação do presente trabalho e foram devidamente referenciados conforme a Norma do Depósito Legal de Trabalho de Culminação do curso que rege na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Assinatura

(Joaquim Inácio Joaquim Pinifolo)

Data: 05/04/2024

Dedicatória

“Dedico este trabalho aos meus pais, Inácio e Eugénia pela educação e apoio que me têm proporcionado incansavelmente. Saiba pai, que o teu trabalho me inspira profissionalmente e admiro bastante o teu zelo ao trabalho. E tu também mãe, teu amor incondicional e carinho desde o ventre servem-me de inspiração para correr atrás do que realmente amo.”

Agradecimentos

À toda a comunidade académica, vai o meu muito obrigado, desde ao pessoal da DRA e aos docentes principalmente ao admirável mentor PhD Borges Chambal, Eng^o, pela sua excelente supervisão e disposição ao acompanhar nesta minha última jornada e também aos demais docentes do DEQUI contribuíram bastante na minha formação académica e profissional em conhecimento e habilidades, com destaque ao PhD Alberto Tsamba, Eng^o, pela correção e auxílio na melhoria na elaboração do trabalho.

À Empresa *Tongaat Hulett*: Açucareira de Moçambique, SA, grato por conceder-me uma oportunidade de estágio que foi muito proveitoso na aplicação e aquisição dos novos saberes. Dos colaboradores aos directores da empresa vai o meu muito obrigado. Em especial agradeço a Eng^o Zacaria Garrine pela colaboração na identificação do problema e materializá-lo neste trabalho. Também a Dinis, colega estagiário, que se tornou um amigo e irmão, foi bom, termo-nos cruzado nessa trajectória da vida, amigo.

Grato à Turma de Eng. Química 2017, vocês foram realmente uma família para mim, das vezes que precisei de ajuda, pois, vocês deram o vosso máximo em apoiar-me. Também aos meus colegas e amigos: Tomás, Moane, Heike Melani, Aizeque, Abudo, Armando, Sérgio, Ana Marcela, Arsénia, Segredo, Machava, Joaquim Eduardo, e aos demais.

Agradeço à Kelce Langa pela ajuda, motivação e atenção dadas durante a edição e revisão do trabalho, pois, precisava dum olhar crítico, porém tu soubeste dar o brilho.

À toda a família e todos os amigos envolvidos que suportaram moral e materialmente. Em destaque meu primo Joaquim Orlando, as tuas chamadas diárias fortaleceram-me bastante. Também Nísio, Anita, avós Nsai e Mária, e todos não mencionados pelo apoio e incentivo dados durante a minha formação académica, estimei muito a vossa atenção por mim. E em especial aos meus pais, Inácio e Eugénia, não vejo palavras para agradecê-los. Contudo, eu agradeço bastante por sempre me cuidarem, por acreditarem em mim, pela educação dada e encorajamento em cada momento. Pai e mãe, vocês são a razão do resultado deste trabalho porque sem vocês, não seria possível concretizá-lo.

Por último, não que seja menos importante, mas sim, porque Dele precede todas as coisas. Agradeço a Jeová, Deus Altíssimo e Misericordioso, pelo dom de vida, pela sabedoria e coragem que me concedeu para persistir nos bons e maus momentos que me foram surgindo, durante o curso.

“..., quem de vocês querendo construir uma torre, não se senta primeiro e calcula a despesa, para ver se tem o suficiente para completar?”

(Jesus Cristo, *in* Lucas 14:28)

Resumo

Tema: Avaliação da sustentabilidade do reuso da água dos condensadores barométricos com recurso às torres de resfriamento

O presente trabalho é resultado do estágio profissional realizado na empresa *Tongaat Hulett*: Açucareira de Moçambique, SA, uma unidade industrial, do sector alimentar que se dedica à produção de açúcar em Mafambisse, no Distrito de Dondo, Província de Sofala. Verifica-se que há um consumo significativo de água na operação da unidade destinada às diversas necessidades operacionais dos equipamentos, sendo esta água, por fim, descartada no rio Púnguè ainda à temperatura elevada, acarretando consequências ambientais. Foi neste âmbito que surgiu a necessidade de estudar a sustentabilidade dos recursos hídricos disponíveis, tendo sido proposto o tema cujo objectivo é avaliar o impacto do reuso de efluentes dos condensadores barométricos com a instalação de torres de resfriamento para poupança do consumo da água fresca e redução das suas descargas ao meio receptor. A metodologia usada neste trabalho consiste em revisão bibliográfica, pesquisa exploratória, estudo de caso, ensaios práticos, tendo culminado com a elaboração desse relatório. A água foi caracterizada quanto aos parâmetros físico-químicos e também quantificada tendo se constatado que cumpre com os parâmetros de qualidade para as operações com a excepção dos SST e da temperatura. O estudo também apurou que a água descartada no rio, encontra-se 10 °C acima do limite legal, sob caudal cerca de 1350 m³/h provenientes dos condensadores barométricos, resultando em graves repercussões ambientais, tornando-se assim imperativo realizar ajustes nas suas propriedades antes de efectuar o descarte no meio receptor. Ademais, constatou-se que a implementação de torres de resfriamento figura como solução para a integração dos processos cujo projecto demandaria um investimento aproximado de 17.000.000,00 MZN que é amortizável em 12 anos, conferindo notáveis benefícios na redução da captação e descargas industriais, além da poupança energética na ordem de 835 kW.

Palavras-chave: efluentes, sustentabilidade, condensadores barométricos e torre de resfriamento.

Abstract

Topic: Evaluation of the sustainability of reusing water from barometric condensers using cooling towers

This work is the result of a professional internship at the company Tongaat Hulett: Açucareira de Moçambique, SA, an industrial unit in the food sector dedicated to sugar production in Mafambisse, in the district of Dondo, Sofala province. There is a significant consumption of water in the operation of the unit for the various operational needs of the equipment, and this water is finally discharged into the Púnguè River at a high temperature, with environmental consequences. It was in this context that the need arose to study the sustainability of available water resources, and the subject was proposed, the aim of which is to assess the impact of reusing effluent from barometric condensers with the installation of cooling towers to save fresh water consumption and reduce its discharge into the receiving environment. The methodology used in this work consists of a literature review, exploratory research, a case study and practical trials, culminating in this report. The water was characterized in terms of its physical and chemical parameters and also quantified. It was found to comply with the quality parameters for operations, with the exception of TSS and temperature. The study also found that the water discharged into the river is 10 °C above the legal limit, at a flow rate of around 1350 m³/h from the barometric condensers, resulting in serious environmental repercussions, making it imperative to make adjustments to its properties before discharging it into the receiving environment. In addition, it was found that the implementation of cooling towers is a solution for integrating the processes, the project of which would require an investment of approximately MZN 17,000,000.00, which can be amortized over 12 years, providing notable benefits in terms of reducing industrial abstraction and discharges, as well as energy savings of around 835 kW.

Key words: *Effluents, sustainability, barometric condensers and cooling tower.*

Índice

Dedicatória	i
Agradecimentos	ii
Epígrafe.....	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice.....	vi
Lista de abreviaturas, símbolos e acrónimos	ix
Lista de figuras	xii
Lista de gráficos	xiv
Lista de tabelas	xiv
CAPÍTULO I	1
1 Introdução	1
1.1. Âmbito de estágio.....	1
1.2. Contextualização	1
1.3. Definição do problema.....	2
1.4. Justificativa	3
1.5. Motivação	3
1.6. Objectivos.....	3
1.7. Metodologia de pesquisa.....	4
CAPÍTULO II	5
2 Revisão de literatura.....	5
2.1. Indústria de açúcar	5
2.1.1. Contextualização histórica da indústria de açúcar	5
2.1.2. Conceito de açúcar	6
2.1.3. Processos produtivos do açúcar	7
2.2. Sustentabilidade e água na indústria açucareira	7
2.2.1. Demanda de água na indústria açucareira	9
2.2.2. Águas residuais e os seus impactos na indústria açucareira em Moçambique.....	10
2.2.3. Caracterização qualitativa das águas residuais	10
2.2.4. Reuso das águas residuais na indústria açucareira.....	11
2.3. Condensadores	12
2.3.1. Configuração dos condensadores nos evaporadores e nas painéis.....	13
2.3.2. Classificação dos condensadores.....	13

2.3.3.	Condensadores barométricos	14
2.4.	Torres de resfriamento	18
2.4.1.	Funcionamento das torres de resfriamento	19
2.4.2.	Balanço mássico e energético	19
2.4.3.	Tipos de torres de resfriamento	23
2.4.4.	Conceitos fundamentais	24
2.4.5.	Descrição dos componentes do equipamento	26
CAPÍTULO III		28
3	Caso de Estudo	28
3.1.	Grupo <i>Tongaat Hulett</i>	28
3.2.	Grupo <i>Tongaat Hulett</i> em Moçambique	29
3.3.	A <i>Tongaat Hulett</i> : Açucareira de Moçambique, S.A. em Mafambisse	29
3.4.	Processos de produção de açúcar na <i>Tongaat Hulett</i> : Açucareira de Moçambique, SA.	30
3.5.	Descrição das etapas dos processos de produção de açúcar	31
3.5.1.	Extracção da matéria-prima	31
3.5.2.	Extracção do caldo	33
3.5.3.	Processos produção de açúcar	34
3.5.4.	Embalagem e expedição	42
3.6.	Problema industrial identificado no processo de produção da empresa	44
3.7.	Actividades desenvolvidas durante o estágio	45
	Semana 1 e 2: Compreendendo o período de 6/02/2023 à 17/02/2023	45
	Semanas 3-10: Compreendendo o período de 20/02/2023 à 28/04/2023	45
	Semanas 11-17: Compreendendo o período de 01/05/2023 à 03/06/2023	45
CAPÍTULO IV		46
4	Materiais e métodos	46
4.1.	Parte experimental	46
4.1.1.	Materiais e equipamentos	46
4.1.2.	Procedimentos experimentais	47
4.2.	Determinação da quantidade da água	48
4.3.	Dimensionamento da torre de resfriamento	49
4.3.1.	Dados e ferramentas usados para o dimensionamento	49
4.3.2.	Determinação dos custos da implantação da torre de resfriamento	49
CAPÍTULO V		50
5	Resultados e discussão	50

5.1.	Avaliação dos resultados dos parâmetros de qualidade da água	50
5.2.	Determinação da quantidade da água fria das colunas barométrica.....	53
5.3.	Proposta da solução.....	53
5.4.	Avaliação técnica e financeira na implementação do projecto	54
5.4.1.	Avaliação dos custos da implantação da torre de resfriamento	54
5.4.2.	Avaliação técnica da implantação da torre de resfriamento.....	54
CAPÍTULO VI		56
6	Conclusões, limitações e recomendações	56
6.1.	Conclusões.....	56
6.2.	Limitações	56
6.3.	Recomendações.....	57
BIBLIOGRAFIA		58
Referências bibliográficas.....		58
Outras referências consultas		61
GLOSSÁRIO		62
APÊNDICES		
Apêndice I. Experiências laboratoriais, tratamentos de dados e resultados		
Apêndice II. Cálculos		
ANEXOS		
Anexo I. Dados dos padrões legais		
Anexo II. Cotações de requisição do equipamento		
Anexo III. Certificação de estágio		

Lista de abreviaturas, símbolos e acrónimos

Siglas	Significados
BdM	Banco de Moçambique
BM	Banco Mundial
BR	Boletim da República
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
DEQUI	Departamento de Engenharia Química
DNA	Distribuidora nacional de açúcar
DRA	Direcção de registo académico
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
ETA	Estação de tratamento de água
EUA	Estados Unidos de América
FAO	Food and Agriculture Organization
FENG-UEM	Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.
HFCS	<i>High-Fructose Corn Syrup</i>
HSST	Higiene, saúde e segurança no trabalho
INNOQ	Instituto Nacional de Normalização e Qualidade
MIC	Ministério da Indústria e Comércio
ND	Não disponível
ODM	Objectivos de desenvolvimento do milénio
ODS	Objectivos de desenvolvimento sustentáveis
ONG	Organizações não governamentais
ONU	Organização das Nações Unidas
RCE	Regulamento de Culminação de Estudos
RSA	<i>Republic of South Africa</i> (República sul africana)
SA	Sociedade Anónima
TCH	Tonelada de cana por hora
TCC	Trabalho de Conclusão de Cursos
TCM	Transferência de Calor e Massa
TR	Torre de resfriamento
UEM	Universidade Eduardo Mondlane
VLE	Valores limites de emissão

Símbolos	Significados	Unidades
N	Rotações por minuto	Rpm
G	Aceleração de gravidade	m/s ²
H, h, s, Ho e D	alturas e diâmetro das colunas barométricas	m
H_v / h_v	Entalpia de vapor	J/kg
H_{ar}	Entalpia do ar	J/kg
m_{evap}	Massa evaporada	kg/h
DBO	Concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L
DQO	Concentração de Demanda Química de oxigênio	mg/L
TCH	Tonelada de cana por hora	t/h
T_x	Taxa de evaporação da água	kg/h ou t/h
Q	Calor libertado/gerado	W
Ph	Potencial de hidrogênio	Adimensional
$Cp_{água}$	Capacidade calórica de água	J/(g.°C)
v	Velocidade da água	m/s ou cm/s
SST	Sólidos suspensos totais	mg/L
W	Fluxo de água fria	kg/h
CaCO₃	Carbonato de cálcio	-
HCl	Ácido clorídrico	-
$L' e G'$	Caudais de água e ar	kg/h
A	Área de transferência de calor	m ²
h_{conv}	Coeficiente de transferência de calor	W.m ⁻² .K ⁻¹
Q_{cond}/Q_{evap}	Calor gerado pela condução e evaporação	W
Q_{tot}	Calor total gerado nas torres de resfriamento	W
Me	Número de Markel	Adimensional
Y_1	Humidade absoluta	kg/kg
t_i	Temperaturas em diversos pontos da torre	°C
dH	Variação de entalpia	J/kg
η_{TR}	Eficiência térmica de Torre de resfriamento	Adimensional
$\dot{m}_v$	Fluxo do vapor	kg/h

Unidades	Significados
kW	Quilowatt
kPa	Quilopascal
°C	Grau Celsius
K	Grau Kelvin
ℓ	Litro (1 dm ³)
USD	Dólar Americano
T	tonelada (1000 kg)
MZN	Metical
Ppm	parte por milhão

Lista de figuras

Figura 1. Configuração dos condensadores nos evaporadores e nas painelas	13
Figura 2. Tipos de Condensadores.....	14
Figura 3. Disposição típica dos condensadores em contracorrente (1); configuração das chicanas (2) e representação da coluna barométricas (3)	15
Figura 4. Fluxograma dos evaporadores de múltiplos efeitos (esquerda) e o diagrama esquemática de condensador barométrico em contracorrente (direita).....	16
Figura 5. Taxa de água fria por vapor condensado em função da (1) diferença das temperaturas da água no condensador e da água de arrefecimento e (2) da pressão absoluta.	17
Figura 6. Esquema duma torre de resfriamento.....	18
Figura 7. Modelos antigos (1) e modernos (2) de torres de resfriamento de tiragens natural e mecânica em série, respectivamente	19
Figura 8. Balanço de massa e energia (a direita) e a representação duma gotícula no corpo da torre de resfriamento (a esquerda).	20
Figura 9. Curva de equilíbrio de uma torre de resfriamento e a carta psicométrica	21
Figura 10. Torres de resfriamento de fluxo de corrente cruzado e em contracorrente.	23
Figura 11. Torre de tiragem hiperbólica e de tiragem mecânica (forcada e induzida).....	24
Figura 12. Representação gráfica de Range e Approach no processo de resfriamento.....	24
Figura 13. Componentes básicos duma torre de resfriamento	26
Figura 14. Logotipo da Tongaat Hulett Group.....	28
Figura 15. Mapa das instalações de produção cana-de-açúcar na África Austral	28

Figura 16. Localização geográfica da unidade fabril da Tongaat Hulett: Açucareira de Moçambique, S.A	29
Figura 17. Organograma estrutural da Tongaat Hulett: Açucareira de Moçambique, SA-Mafambisse.....	30
Figura 18. Fluxograma e esquema produção da Açucareira de Moçambique, SA.	30
Figura 19. Campo de cultivo e corte mecânico da cana-de-açúcar feita pelo operário	31
Figura 20. Plataforma de pesagem de caminhões.....	32
Figura 21. Descarregamento da cana na mesa de alimentação.....	32
Figura 22. Lotes de facas primárias (1), secundárias (2) e desfibrador modelo Searby (2).....	33
Figura 23. Conjunto de moinhos	34
Figura 24. Aquecedores de sumo misto: primários, secundários e terciário	35
Figura 25. Clarificadores de sumo misto.....	36
Figura 26. Filtros rotativos a vácuo	36
Figura 27. Grupos de Evaporadores tipo Robert: grupo A e grupo B	37
Figura 28. Válvula automática para-o controlo de condensados contaminados	37
Figura 29. Painéis descontínuas de James Brown & Hammer LTD	39
Figura 30. Recebedores Fives Lille Cail.	40
Figura 31. Centrífugas contínuas de massas B e C (Broadbent e Robert) e centrífugas descontínuas Broadbent & Sons LTD.	41
Figura 32. Secador de Tambor Rotativo Comessa.	42
Figura 33. Placa de lançamento de fortificação de açúcar, doseador de vitamina A, máquina de empacotamento e embalagens do açúcar.....	43
Figura 34. Descarga de águas residuais provenientes dos processos e os condensadores barométricos	44

Figura 35. Metodologia utilizada para realização da parte prática do trabalho	46
Figura 36. Cenário actual do consumo de água e geração de efluentes residuais.....	48
Figura 37. Cenário proposto do consumo de água e geração de efluentes residuais	55
Figura A2.1. Termómetro (modelo HI 9040 <i>microcomputador thermometer</i>).	A2.1.
Figura A2.2. Photometer System (modelo HI 9040).....	A2.1.
Figura A2.3. Potenciómetro (Modelo CRISON GLP 21 PH)	A2.1.
Figura A2.4. Equipamentos usados na titulação.....	A2.1

Lista de gráficos

Gráfico 1. Distribuição do uso de água no processo industrial	9
Gráfico 2. Variação das temperaturas nas águas das colunas barométricas, alimentação e efluentes residuais.....	51
Gráfico 3. Variação dos níveis de pH e alcalinidade nas colunas barométricas e nos efluentes	51
Gráfico 4. Variação dos níveis de SST e turbidez nas colunas barométricas e nos efluentes e suas respectivas médias.....	52

Lista de tabelas

Tabela 1. Descrição do Estágio na Empresa Tongaat Hulett, S.A.	1
Tabela 2. Fábricas de açúcar a operar em Moçambique, capacidades de produção e as suas produções médias por campanha no período de 2017/2021	6
Tabela 3. Classificação dos condensadores de acordo com os seus funcionamentos .	14
Tabela 4. Caracterização das estações de cozimento de açúcar.	39
Tabela 5. Valores médios e desvios padrão dos parâmetros físico-químicos das águas	50

CAPÍTULO I

1 Introdução

1.1. Âmbito de estágio

O Estágio Profissional é uma das formas alternativas de culminação do Curso de Licenciatura em Engenharia Química para além do trabalho de licenciatura (monografia), culminando com a apresentação de um relatório escrito e uma defesa oral do mesmo (FEUEM, 2009). O presente relatório cobre o estágio realizado na empresa *Tongaat Hulett*: Açucareira de Moçambique, SA em Mafambisse, com uma duração de quatro meses. A **tabela 1** descreve devidamente a informação do estágio.

Tabela 1. Descrição do estágio na *Tongaat Hulett*: Açucareira de Moçambique, S.A.

<i>Nome da Empresa</i>	<i>Tongaat Hulett: Açucareira de Moçambique, S.A.</i>
<i>Localização da empresa</i>	<i>Mafambisse, Sofala</i>
<i>Direcção</i>	<i>Fabril (departamento de processos)</i>
<i>Área de Estágio</i>	<i>Secções de processos e laboratórios</i>
<i>Duração do Estágio</i>	<i>06/02 a 09/06 - 4 meses (17 semanas)</i>

A *Tongaat Hulett*: Açucareira de Moçambique, S.A. é uma empresa Moçambicana que se dedica à produção de açúcar tanto para o mercado nacional como para o mercado internacional. Esta produção compreende desde o cultivo da cana até ao processamento deste para produção do açúcar.

1.2. Contextualização

Água e energia são dois dos mais importantes recursos existentes e ambos estão com as suas reservas em estado crítico. Pois, ambos estão intimamente relacionados pois para a produção de energia é necessário o uso de água, e para se utilizar água é necessário tratamento, armazenamento e transporte, que demandam certa parcela de energia (Sampaio, 2013). Por outro lado, actualmente a sustentabilidade das empresas e as mudanças climáticas têm constituído uma temática amplamente discutida nos congressos de engenharia (O Económico, 2023). Deste modo, uma estratégia fundamental para mitigar os impactos ambientais reside na redução da emissão de

efluentes ao meio ambiente, bem como na adopção sustentável dos recursos hídricos, implicando a diminuição da captação de água dos rios para fins industriais (Pimentel, et al., 2004). Essa abordagem não assegura apenas a sustentabilidade ambiental como também pode conferir vantagem económica à empresa pela elevada demanda hídrica associada aos processos produtivos na indústria de açúcar (Torquato Jr., et al., 2004).

Além disso, existem incentivos às empresas a implementar as normas relacionadas com a sustentabilidade, a boa prática de *governance* e a minimização do impacto ambiental, com a existência de linhas de ‘financiamento verde’ disponíveis para o lançamento de novas ideias, criar negócios sustentáveis e debater as várias vertentes de *ESG* (*Environment, Social and Governance*) no país para o cumprimento dos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) traçadas pela ONU (O Económico, 2023).

Neste contexto, o presente estudo avalia a sustentabilidade da implementação de um sistema de reuso das águas provenientes dos condensadores barométricos com recurso às torres de resfriamento com o objectivo desenvolver um sistema capaz de concretizar benefícios tanto económicos quanto ambientais.

1.3. Definição do problema

Pela crescente escassez de recursos hídricos, o reuso da água é a crescente prática, principalmente as indústrias que consomem altos volumes da água, pois existem restrições legais reguladas pelas autoridades que estabelecem padrões de Gestão Ambiental, portanto as indústrias não estão isentas das mesmas. As indústrias são desincentivadas à emissão de efluentes industriais, em contrapartida, a fazerem uso racional dos recursos hídricos. Com vista nisso, nota-se que nas indústrias de açúcar há emissão de efluentes provenientes dos diferentes canais, onde o efluente das colunas barométricas é o principal factor no incremento da temperatura e concentração de substâncias nocivas nas águas residuais nos efluentes da indústria. Isso constitui um problema ao meio ambiente, podendo afectar a comunidade circunvizinha que faz o uso da água do rio. Nesse sentido, surge o problema dos custos operacionais e os impactos ambientais pela emissão dos efluentes gerados pela indústria, sendo necessário fazer-se a avaliação da sustentabilidade e propor métodos ou medidas eficazes de tratamentos para se fazer o reuso dessa água descartada ao ambiente.

1.4. Justificativa

A realização desta pesquisa é bastante oportuna e de extrema importância, visto que este problema mereceu especial atenção dado que a não resolução do mesmo trará graves problemas à empresa sobretudo de ordem legal e poderá comprometer o cumprimento das conformidades sustentáveis (ESG), surtindo consequências sérias à comunidade circunvizinha. O estudo permitirá que, com a resolução deste problema, haja melhorias significativas no que diz respeito aos custos das operações de bombeamento e pela captação da água para suprir as necessidades da planta fabril que acarretam alto custo económico para a empresa. Visto que, há elevado consumo de água na fábrica, principalmente as etapas de evaporação e cozimento são tidos os pontos mais críticos em relação à demanda de recursos hídricos e o consumo de vapor.

Porém, actualmente a solução apresentada pela empresa consiste no descarte do efluente pela descarga ao rio sem o devido tratamento. Representando assim um impacto ambiental negativo sério e é o motivo de fiscalização pelos órgãos ambientais. Deste modo, torna-se imperativo otimizar esses procedimentos visando o uso eficiente desse recurso para cumprir-se as conformidades de sustentabilidade nesta indústria.

1.5. Motivação

Esta pesquisa foi motivada pela preocupação que a empresa tem pela sustentabilidade ambiental e socioeconómica que levou implementação do programa “Impacto Ambiental” como *Huley Rule*, no seu funcionamento. Também, a escolha desta temática de estudo foi motivada pelo facto de ser actual e desafiador no contexto das indústrias açucareiras moçambicanas e pouco discutido no País com vista a minimizar impactos ambientais que provocam mudanças climáticas no País e no mundo. Além disso, o reuso da água descartada ao ambiente confere às empresas uma vantagem competitiva económica e operacional por reduzir os custos de captação de água. Facto que despertou um especial interesse pelo problema em causa, servindo desta forma como um desafio pessoal.

1.6. Objectivos

Este trabalho tem como objectivo geral avaliar a sustentabilidade do reuso da água dos condensadores barométricos com recursos às torres de resfriamento, de forma a auxiliar

na redução do impacto ambiental causado pelos efluentes dessa tipologia de indústria, minimizando assim o alto consumo de água requeridas nesses equipamentos. A fim de responder este objectivo, ao longo do desenvolvimento deste trabalho, serão considerados os seguintes objectivos específicos:

- Caracterizar a qualidade da água residual proveniente das colunas barométricas da empresa em estudo mostrando os seus impactos ambientais;
- Determinar a quantidade da água fria usada nos condensadores barométricos, identificando as possíveis soluções para fazer-se o reuso da água;
- Propor um projecto de torre de resfriamento para se fazer o reuso das águas residuais provenientes das colunas barométricas;
- Determinar os custos da implantação das torres de resfriamento analisando a viabilidade técnica e económica.

1.7. Metodologia de pesquisa

A metodologia de pesquisa empregada neste estudo integra diferentes abordagens para garantir a abrangência e profundidade na análise do problema. A pesquisa é de natureza aplicada, conforme descrito por Gil (2002), com o objetivo de gerar conhecimento voltado à solução prática de problemas específicos da empresa Tongaat Hulett: Açucareira de Moçambique, S.A., visando a sua sustentabilidade. Adotou-se também uma abordagem quantitativa, utilizando medidas numéricas padronizadas e sistemáticas para análise estatística, como médias e desvios-padrão, apresentadas por meio de gráficos. O estudo também possui um carácter exploratório, buscando maior familiaridade com o problema e fundamentação teórico-científica, além de propor a implantação de uma torre de resfriamento. Os procedimentos incluíram pesquisa bibliográfica e documental, baseando-se em fontes como livros, artigos científicos, regulamentos legislativos e documentos internos da empresa. A coleta de dados envolveu observação direta, entrevistas com colaboradores e estudo de caso, conforme Gerhardt e Silveira (2009), possibilitando a análise aprofundada dos processos industriais. Por último as experiências laboratoriais foram realizadas para avaliar parâmetros físico-químicos, cujos resultados foram tratados e analisados estatisticamente no Excel, permitindo a elaboração de gráficos e tabelas que embasaram a interpretação e discussão dos dados no relatório final.

CAPÍTULO II

2 Revisão de literatura

2.1. Indústria de açúcar

O açúcar é um producto muito importante na vida dos seres humanos, Shreve & Brink (1997) destacam que isso deve-se ao facto de os seres humanos desejarem doçura na sua dieta, mas o seu valor não se limita ao seu sabor doce, mas também pelo facto de fornecer energia necessária existente. Como resultado, a produção e refinaria de açúcar são uma indústria enorme, consumiu-se cerca de $8,3 \times 10^6$ t de açúcar nos EUA em 1982. Sendo a produção mundial total de açúcar estimada em 953×10^6 t.

2.1.1. Contextualização histórica da indústria de açúcar

As origens da produção de açúcar remontam à Nova Guiné, apesar de haver registos de métodos tradicionais de extração na Índia antes de Cristo (Shreve & Brink Jr., 1997). Chegou à Europa nos anos 1400. E em Portugal, a primeira referência que se conhece ao açúcar data de 1339, Madeira tornou-se um dos grandes centros de produção europeus (Paulino, 2017). Enquanto isso, a América do Norte começou a produzir açúcar por meio da cana em 1689, e o açúcar de beterraba foi descoberto mais tarde. Daí que os *HFCS* competiam com a cana-de-açúcar e a beterraba como principais fontes de adoçantes (Shreve & Brink Jr., 1997).

Actualmente Brasil, Índia, China, Paquistão e Tailândia dominam a produção mundial de cana-de-açúcar. Segundo a FAO (2023), a produção global ascendeu a $1,87 \times 10^9$ t em 2020. Portanto, a África, representada por 39 países, contribuiu com 5,1% da produção total, com a RSA e Essuatíni a ocuparem as posições cimeiras ao nível do continente e Moçambique contribuindo com $2,7 \times 10^6$ t.

Em Moçambique, Gode (1997) sustenta que a história da indústria açucareira conheceu dois períodos distintos: (i) o colonial, em que as fábricas foram implantadas e a produção cresceu aceleradamente; e (ii) o do pós-independência, em que a maioria das fábricas fora paralisada e as poucas fabricas que continuam operacionais não usam capacidade instalada, levando a uma drástica redução de produção. Portanto, ressalta-se que o país possuía, até 2021, sete fábricas de açúcar em funcionamento, das quais quatro produzem açúcar convencional e refinado, e três produzem açúcar orgânico conforme ilustrado na **tabela 2**.

Tabela 2. Fábricas de açúcar a operar em Moçambique, capacidades de produção e as suas produções médias por campanha no período de 2017/2021

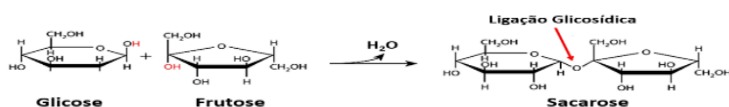
Fábricas licenciadas	Localização	Capacidade de produção	Produção média por ano
Convencional e Refinado			
Maragra Açúcar, SA	Maputo Província	96.000 t/ano	70.701 t/ano
Tongaat Hulett: Açucareira de Moçambique, SA	Sofala	90.000 t/ano	38.399 t/ano
Companhia de Sena, SA	Sofala	110.000 t/ano	36.382 t/ano
Tongaat Hulett: Açucareira de Xinavane, SA.	Maputo	234.000 t/ano	169.935 t/ano
SUB-TOTAL		530.000 t/ano	315.418 t/ano
Orgânico			
Pure Diets Moçambique	Maputo	10.000 t/ano	ND
Eco Farm Moçambique	Sofala	30.000 t/ano	10.000 t/ano
Eco Energia de Moçambique	Cabo Delgado	9.300 t/ano	ND
SUB-TOTAL		49.300 t/ano	-

Fonte: BdM (2022).

Ademais, o BdM (2022) enaltece a produção da cana-de-açúcar no País, pois contribui para o crescimento económico por esta estar associada à necessidade de produção do açúcar, podendo diversificar-se em vários subproductos, destacando-se o etanol, vários tipos de açúcares para o consumo directo e para a indústria alimentar e de bebidas. Tendo o bagaço e a palha da cana-de-açúcar para a geração de combustível e energia eléctrica. Deste modo, agregar-se-á mais o valor da a produção da cana-de-açúcar.

2.1.2. Conceito de açúcar

Os açúcares são compostos formados por unidades denominadas sacarídeos, podendo ser classificados em monossacarídeos, como glicose, frutose e galactose; dissacarídeos, como sucrose, maltose e lactose; e polissacarídeos, como amido, celulose e glicogénio. A sacarose ($C_{12}H_{24}O_{12}$) é a composição básica do açúcar comercial, um dissacarídeo formado por uma molécula de glicose e outra de frutose produzida pela cana-de-açúcar, facilmente convertida em quantidades iguais de glicose e frutose pela hidrólise ácida ou enzimática por acção da invertase presente em células de levedura (Castro, 2013).



(1)

As principais matérias-primas empregadas para a produção de açúcar industrial são a cana-de-açúcar e a beterraba além do milho (Castro, 2013). Portanto, Delgado & Cesar (1977) sustenta que o açúcar é produzido por todos vegetais clorofilados, através de um processo conhecido como fotossíntese, descrita pela seguinte equação:



Os principais motivos pelos quais se adota a cana-de-açúcar para a produção de açúcar são: a alta produtividade (cerca de 100 t/ha); boa constituição do caldo¹, ótima geração de bagaço, que constitui importante fonte de energia; bom clima² e solos favoráveis à instalação da cultura da cana. Além disso, a cana apresenta em média 74.5% de água, 25% de matéria orgânica e 0.5% em matéria mineral (Hugot, 1969).

2.1.3. Processos produtivos do açúcar

O processo de fabricação do açúcar começa com a colheita da cana-de-açúcar, sendo moída para extrair o caldo após isso, o caldo é filtrado e aquecido para evaporar a água, formando um xarope espesso que passa por um processo de clarificação para remover impurezas. Em seguida, é aquecido novamente para formar cristais de açúcar, isto é, cozimento. Os cristais são separados do líquido restante, chamado melaço, através de centrifugação. Os cristais de açúcar são secos e o melaço também pode ser utilizado na produção de álcool e ração animal (Delgado & Cesar, 1977).

2.2. Sustentabilidade e água na indústria açucareira

De acordo com Martins, et al. (2010), a preocupação da comunidade internacional com a degradação ambiental remonta à década de 1960, tendo os debates culminados na Conferência de Estocolmo sobre o Meio Ambiente em 1972, onde surgiu o conceito de eco-desenvolvimento e mais tarde, em 1976 foi consolidado como desenvolvimento sustentável por Ignacy Sacho. Daí que, em 1987, o desenvolvimento sustentável voltou a ser abordado no Relatório Brundtland na CMMAD criada pela ONU, coordenado pela ex-primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland (Martins, et al., 2010). Onde se apresentou a primeira definição do conceito de Desenvolvimento Sustentável: “o

¹ Cujo carboidrato de reserva predominante e mais abundante é a sacarose (cerca de 17% do caldo) sendo a componente principal na constituição do açúcar comum.

² Permite que a cana vegete nos meses de verão, e passe a acumular a sacarose no inverno;

desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades.” — Revista Ideia Sustentável (s.d.).

Desde então, o conceito de sustentabilidade vem a evoluir e ganhando contornos adaptados às realidades de governos e empresas. Dessa forma, Almeida (apud Azevedo, 2006) afirma que a empresa sustentável procura a eco-eficiência em todas as suas acções e decisões, tendo alta produção com melhor qualidade, gerando menos poluição e utilizando os recursos naturais duma forma adequada.

Recentemente a ONU introduziu os ODS (2015) para substituir os ODM (2000) após o seu fracasso, comprometendo-se todos os sectores nos países em desenvolvimento, incluindo empresas públicas e privadas, ONG's, governos e indivíduos. Existem 17 ODS's introduzidos, abrangendo temas como o consumo sustentável, as alterações climáticas e a desigualdade económica, com 169 metas a cumprir até 2030 (ONU, 2015).

Mello & Mello (2018) resumem o conceito dizendo que a sustentabilidade implica a integração dos aspectos financeiros, sociais e ambientais no negócio. Por isso, Torquato Jr., et al. (2004) notam rapidamente a importância e a necessidade de preservação e reutilização dos recursos hídricos nos rios porque desempenham um papel crucial na sobrevivência humana para o desenvolvimento das suas actividades nas empresas no sector industrial, pois, actualmente cerca 70% do total da água doce utilizada em todo o mundo destina-se à produção de alimentos.

Com vista a responder os objectivos 12 e 14 dos ODS, Gleick citado por Pereira (2010) destaca que há necessidade de se fazer um uso sustentável desse recurso escasso. Pois, de toda a água do mundo, apenas 2,5% é doce sendo 99,7% nos glaciares e na neve e nas águas subterrâneas e 0,3% em rios e lagos. E, por sua vez, esta disponibilidade dos recursos é afectada pelas mudanças climáticas causadas pelas actividades do Homem. Por isso, deve se tomar medidas urgentes para o combate as alterações climáticas, fazendo um controlo rigoroso na emissão dos efluentes industriais.

Entretanto, estas indústrias ocasionam variedades de danos devido ao lançamento ambientalmente inadequado das águas residuais nos corpos da água, alterando as características física, químicas e biológicas do corpo da água. Assim, pode haver alteração no pH, temperatura, oxigénio dissolvido, demanda bioquímica de oxigénio, nutrientes, elementos traços, tendo como consequências a mortalidade de peixes e

eutrofização dos cursos da água (Mendes, et al., 2020). Por conseguinte, a *European Environment Agency* (2018) conclui que estes fenómenos alteram o ciclo hidrológico, aumentando o vapor de água na atmosfera, conduzindo a uma disponibilidade de água imprevisível e a fenómenos meteorológicos extremos que culminam com desastres incontrolláveis.

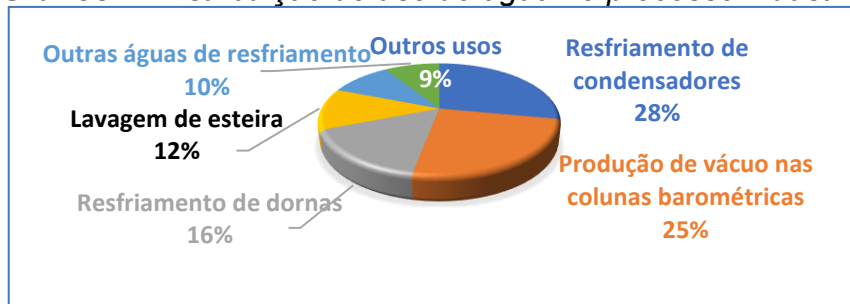
Actualmente, em Moçambique, as empresas são incentivadas a implementar as normas relacionadas com a sustentabilidade, as boas práticas de *Governance* e a minimização do impacto ambiental, com a existência de linhas de '*financiamento verde*' disponíveis. Por isso, se realizou a 1.^a Conferência da *ESG Talks* que teve lugar em Maputo sob o tema "*Financiamento, Impacto e Boas Práticas para um Futuro Verde em Moçambique*" com objectivo de lançar e criar ideias de negócios sustentáveis e debater as várias vertentes de *ESG* em Moçambique (O Económico, 2023).

2.2.1. Demanda de água na indústria açucareira

A agroindústria da cana-de-açúcar é um grande usuário de água em diferentes etapas do processo produtivo de açúcar, como: lavagem de cana; condensadores, lavadores de gases; embebição; caldeiras; lavagens e resfriamento (Torquato Jr., et al., 2004).

Nesta indústria verifica-se um alto consumo de água, tanto na irrigação dos campos de cultivo quanto na indústria, por isso, a racionalização da água nesta indústria requer um profundo conhecimento dos processos industriais e dos parâmetros físicos e químicos requeridos para o seu consumo.

Gráfico 1. Distribuição do uso de água no processo industrial



Fonte: Leite citado por Pereira (2010)

Leite citado por Pereira (2010) concorda, afirmando que "o uso de água nesta indústria está concentrado em seis grupos: resfriamento em condensadores, produção de vácuo nas colunas barométricas, resfriamento de dornas, lavagem de esteiras e outras águas de resfriamento e outros usos", conforme o **gráfico 1**.

Portanto, o sector da indústria açucareira tem estado no centro dos debates das políticas públicas ambientais, cuja discussão analisa a sustentabilidade e o reuso de água, dada escassez de água no mundo que é agravada devido à desigualdade social, mudanças climáticas, a falta de gestão e uso sustentável dos recursos hídricos (Pereira, 2010).

2.2.2. Águas residuais e os seus impactos na indústria açucareira em Moçambique

As águas residuais são resultantes de atividades humanas, como transporte de resíduos domésticos, comerciais e industriais, uso da água para higiene, recreação ou chuvas. As águas residuais industriais, provenientes de atividades industriais, contêm compostos químicos variados e apresentam grande variabilidade nas suas características ao longo do tempo, dependendo do tipo de processamento industrial (BR, 2017).

O’Laughlin & Ibraimo (2013) reafirmaram também que existe um problema na poluição da água nas indústrias açucareiras, para consumo privado e a sobrevivência da pesca nas comunidades ao longo da zona de drenagem dos seus efluentes, por exemplo, o rio Incomáti é uma área de preocupação, devido à dependência dos fertilizantes, insecticidas e herbicidas e das técnicas actuais da produção de cana que criam águas residuais tóxicas provenientes da açucareira de Xinavane.

Ademais, o lançamento de grandes vazões de água a temperaturas acima de 35 °C pode provocar a diminuição do teor de oxigénio dissolvido no corpo receptor e causar comprometimento da vida aquática (Leone, 2018). Com vista a minimizar os impactos ambientais, a legislação desenhou normas de descarga de águas residuais, que prescreve os preceitos, onde se incluem os valores limites de efluentes (VLE³) a observar na descarga das águas residuais nas infra-estruturas do sistema de saneamento ou no meio receptor (BR, 2017).

2.2.3. Caracterização qualitativa das águas residuais

Rosário (2015) diz que a caracterização de águas residuais pode ser efectuada em termos biológicos, físicos e químicos.

- **As características físicas** que devem ser observadas em águas residuais são: cor, turbidez, odor, matéria sólida e temperatura, sendo a matéria sólida a de maior

³ Os VLE encontram-se no Apêndice A1

importância. A matéria sólida pode ser composta (70%) por sólidos voláteis e (30%) por sólidos fixos.

- **As características químicas** são a Demanda Bbioquímica de Oxigénio, Demanda Química de Oxigénio, Fósforo, Nitrogénio, Alcalinidade, dureza e pH.

- **As características biológicas** envolvem a existência de microrganismos de águas residuais tais como bactérias, inclusive do grupo coliforme, vírus e vermes, os indicadores de poluição biológicas e entre outras.

O estudo feito pelo Leone (2018) mostrou que numa dada indústria açucareira as vazões das águas dos efluentes variam entre 118 a 130 m³/h e com DQO de 938 a 1.136 mg/L respectivamente. E também Miguel, et al. (2020) concluíram no seu estudo que a água residual utilizada numa batelada de ensaios estava com 5.60 de pH, 530 mg/L de sólidos suspensos e turbidez de 444 NTU.

O Banco Mundial (1997, apud Almeida, 2009) faz indicações quanto ao máximo de concentração de poluentes nos efluentes, como mostrado na **tabela 3**. Além disso, como medida de prevenção da poluição, os especialistas da instituição recomendam que a vazão de efluentes seja reduzida até 1,3 m³/TC, tendendo a atingir o nível de 0,9 m³/TC, implementando a recirculação da água. E ainda ANA (2009), por sua vez, incentiva a redução do consumo da água de captação, fazendo, assim o reuso nos pontos de maior consumo da água fresca (evaporadores e cozedores), após passar pelo resfriamento e tratamento químico-físico adequado.

Tabela 3. Exigências do Banco Mundial para efluentes líquidos de Indústrias açucareiras

Parâmetro	Valor máximo
pH	6 - 9
DBO ₅	50 mg/L
DQO	250 mg/L
Sólidos totais em suspensão	50 mg/L
Óleos e gorduras	10 mg/L
Nitrogênio total	10 mg/L
Fósforo total	2 mg/L

Fonte: BM (1997) apud Almeida (2009)

2.2.4. Reuso das águas residuais na indústria açucareira

De acordo com Almeida e Santos (2003), o reuso da água consiste na reutilização de águas servidas e pós-tratadas para o processo industrial. Podendo também ser

reutilizada para outras finalidades sem a necessidade de tratamento específico objectivando a redução da captação e do lançamento de efluentes no corpo hídrico do qual a indústria se serve (Torquato Jr., et al., 2004).

A escolha da melhor tecnologia de tratamento de água residual depende das características do efluente. As tecnologias de tratamento de água são classificadas como orgânicos e inorgânicos. Estas podem ser aplicados na desinfecção, remoção de fósforo, coagulação do material particulado, controlo de pH, neutralização e estabilização e refrigeração de água (Leone, 2018).

Pimentel, et al. (2004) também sustentam que o reuso da água implica uma menor necessidade de captação dos recursos hídricos bem como numa menor geração de efluentes, constituindo-se, portanto, uma estratégia eficaz para a conservação desse recurso natural nos seus aspectos qualitativos e quantitativos.

Ainda Pimentel, et al. (2004) que diante destes elevados valores de consumo de água neste sector da indústria de açúcar, destacam que é importante que se avalie quais as oportunidades de reuso no parque industrial realizando o devido tratamento para conferir a qualidade desejada.

O tratamento desses efluentes consiste no seu resfriamento em tanque de aspersores ("spray pond") ou o uso de torres de resfriamento de água. Normalmente há reaproveitamento das águas frias com a recirculação ao processo, embora haja condições de lançamento, respeitando os padrões legais de qualidade de corpo receptor em termos de DBO e temperatura (Miguel, et al., 2020).

Por isso, há necessidade de conhecer os volumes de água envolvidos neste processo, bem como a temperatura e a qualidade dessas águas nas indústrias açucareiras. Com isso, a redução do consumo pode implicar em benefícios económicos e ambientais a médio e longo prazos para a indústria, assim como também minimizar a demanda por água, alinhando-se assim com o desenvolvimento económico e o uso sustentável dos recursos hídricos.

2.3. Condensadores

Segundo Hugot (1969), os condensadores são recipientes dentro dos quais se efectua o contacto entre o vapor a ser condensado e água fria, condensando o vapor vegetal gerado nos evaporadores e cozedores em etapas do processo de produção de açúcar.

2.3.1. Configuração dos condensadores nos evaporadores e nas painelas

Normalmente nas fábricas de açúcar, cada evaporador ou painela tem o seu próprio condensador como mostra a **figura 1.**, onde a pressão é controlada através da regulação do caudal de água fria. Algumas fábricas utilizam um condensador comum, sendo mais simples, mas requer mais tubagens de vapor, válvulas e água fria. Além disso, esta configuração pode perturbar o vácuo em vários recipientes ao iniciar ou parar uma unidade de painela ou evaporador (Rein, 2007).

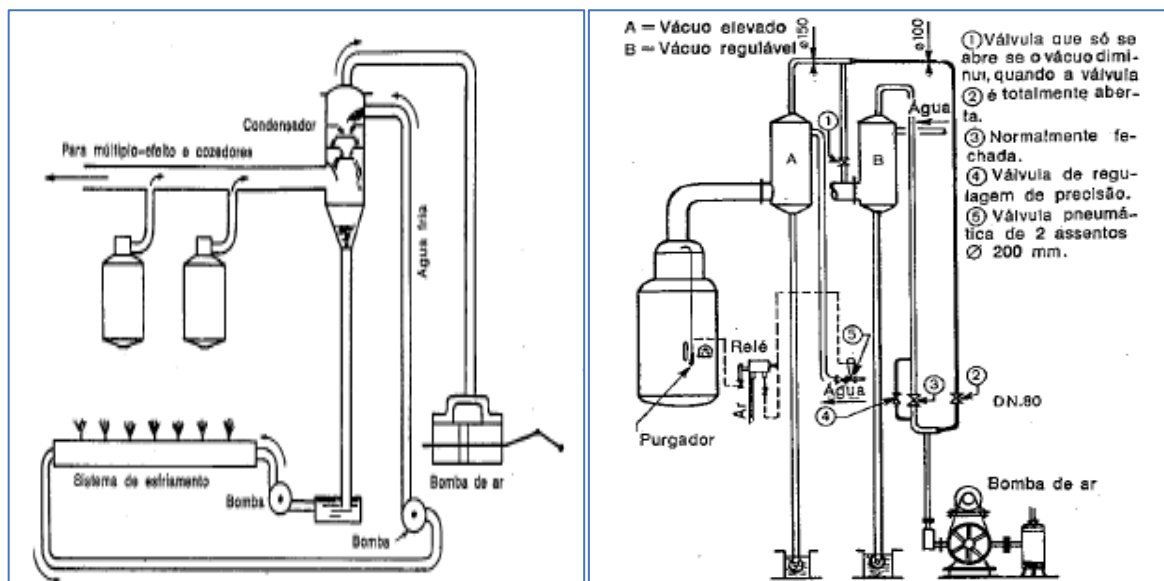


Figura 1. Configuração dos condensadores nos evaporadores e nas painelas

Fonte: Hugot (1969)

A função principal do condensador pode ser de produzir e manter uma baixa pressão de extracção de calor que pode ser efectuada duas formas: por aspersão de água fria numa câmara, para onde é enviado o vapor (por contacto directo) e por enviar o vapor de evacuação através de um conjunto de tubos metálicos, arrefecidos internamente por um fluido térmico relativamente arrefecido internamente por uma corrente relativamente fria de água em circulação (por contacto indirecto) (Romero, 2006).

2.3.2. Classificação dos condensadores

A **tabela 4** resume vários tipos de condensadores de acordo com a forma que é feita a extracção do ar, da água e a circulação do ar. Os modelos comumente encontrados em indústrias de açúcar são: condensadores barométricos de ar seco (em contracorrentes e em concorrentes); condensadores barométricos de ar húmido (em concorrentes e condensadores multijactos).

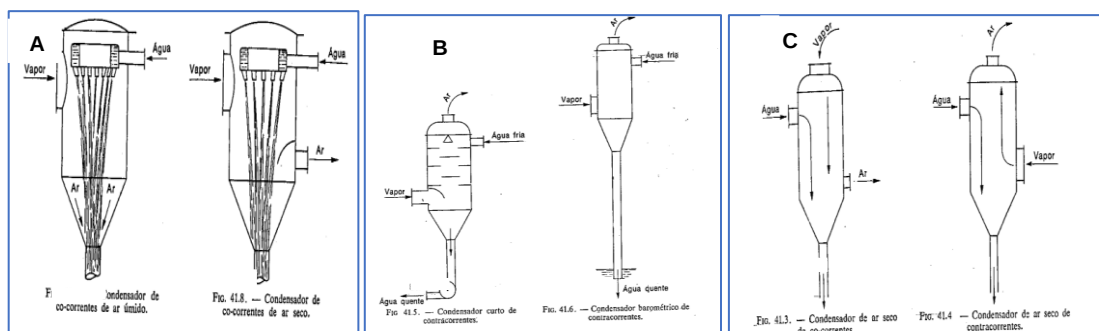


Figura 2. Tipos de Condensadores

Fonte: Hugot (1969)

Tabela 4. Classificação dos condensadores de acordo com os seus funcionamentos

Formas de	Tipos de condensadores
Extração de ar (figura 2. A)	Os condensadores de ar húmido , a água e o ar misturados são extraídos juntos;
	Os condensadores de ar seco , a água e o ar são extraídos separadamente;
Extração da água (figura 2. B)	Os condensadores curtos , que são feitos com extração da água por bomba;
	Os condensadores barométricos , com escoamento da água por gravidade.
Circulação do ar (figura 2. C)	Os condensadores de concorrentes , denominados erroneamente condensadores a correntes paralelas, nos quais água e ar circulam no mesmo sentido;
	Os condensadores de contracorrentes , nos quais água e ar circulam em sentido inverso. Este tipo de condensador é obviamente um condensador de ar seco.

Fonte: Hugot (1969)

2.3.3. Condensadores barométricos

Os condensadores barométricos são dispositivos hidráulicos, que por diferença de pressão, favorecem a extração e condensação dos vapores vegetais gerados nos evaporadores e cozedores na produção de açúcar (Hugot, 1969). Por este motivo, a temperatura da água utilizada nos condensadores barométricos não pode ser elevada, a fim de permitir a troca de calor capaz de condensar eficientemente o vapor vegetal. Nesse processo de arraste e condensação, eleva-se a temperatura da água e esta água

deve ser resfriada para posterior reutilização. Portanto, faz-se o necessário para controlar a qualidade das águas envolvidas neste processo (Pimentel, et al., 2004).

De acordo com Rein (2007), este dispositivo faz troca de calor entre o vapor e a água fria, ocorrendo uma troca mais eficiente quando a superfície de contacto é maior e o tempo de contacto é mais longo. A superfície de contacto depende do percurso do fluxo de água, subdivisão ou aspersão, enquanto o tempo de contacto depende da altura do corpo do condensador e do número de estágios e chicanas ou deflectores

Noël Deerr (1911 apud Hugot, 1969) calcula altura do corpo de condensador, sendo para:

$$H = 4,50 \text{ m para um condensador sem chicanas;} \quad (3a)$$

$$H = 3,65 \text{ m para um condensador com 4 chicanas.} \quad (3b)$$

As alturas do corpo de condensador também podem variar conforme a quantidade do vapor a ser condensado tendo em conta o diâmetro do corpo e a velocidade da água fria que entra no condensador.

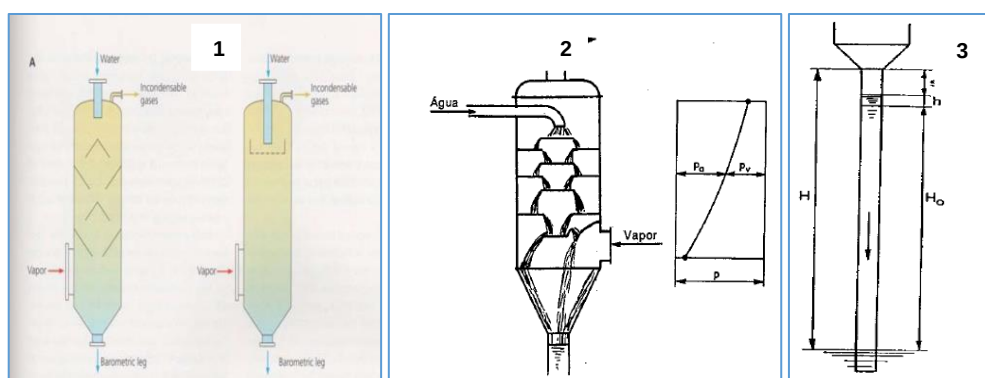


Figura 3. Disposição típica dos condensadores em contracorrente (1); configuração das chicanas (2) e representação da coluna barométrica (3)

Fonte: Rein (2007) e Hugot (1969)

Na concepção duma coluna barométrica, consideram-se a altura e a secção. Onde a altura da coluna barométrica deve ser calculada a partir do nível do vertedor do tanque no pé da coluna até a junta com o corpo do condensador, para facilitar a entrada da água na coluna, Hausbrand (apud Hugot, 1969) aconselha ligá-la ao corpo por um cone de ligação com uma abertura de 30° . Daí que, a altura H da coluna deve representar a soma das 3 expressões, H_0 , h e s , conforme a **figura 3** em (3):

$$H = H_0 + h + s \quad (4)$$

$$\text{Sendo: } h = (1 + \alpha) \frac{v^2}{2g} \quad (0 < \alpha < 1) \quad (5)$$

s – a altura de segurança (m);

h – altura entre o corpo do condensador e a coluna barométrica (m);

α – Coeficiente de abertura que depende do diâmetro;

v – é velocidade da água fria que entra no condensador (m/s);

g – é a constante de gravidade (m/s²);

H_o – é a altura manométrica e depende das condições do local (m).

Por último, a coluna barométrica deve assegurar a expulsão da água (água fria injetada no condensador e o vapor que ela condensou). Para isso, o diâmetro da coluna é

$$\text{determinado por: } \frac{\pi D^2}{4} v = \frac{\dot{m}_v \left(\frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_v} + 1 \right)}{3600} \quad (6)$$

D – diâmetro da coluna (dm);

$\dot{m}_w$ – fluxo de água fria (m³/h);

$\dot{m}_v$ – fluxo de vapor vegetal (m³/h);

v – é velocidade de escoamento da água na coluna (dm/s);

$$\text{Donde: } D = \sqrt{\frac{\dot{m}_v \left(\frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_v} + 1 \right)}{2827v}} \quad (7)$$

Para determinação da taxa de água fria, $\dot{m}_w$, Rein (2007) faz um balanço de entalpia sobre o condensador, mostrado na figura 4, para equacionar a entalpia da água que sai do tubo de escape à temperatura t_v com a que entra com o vapor e a entalpia específica, h_v , à temperatura de saturação do vapor t_{vs} , e no sistema de arrefecimento.

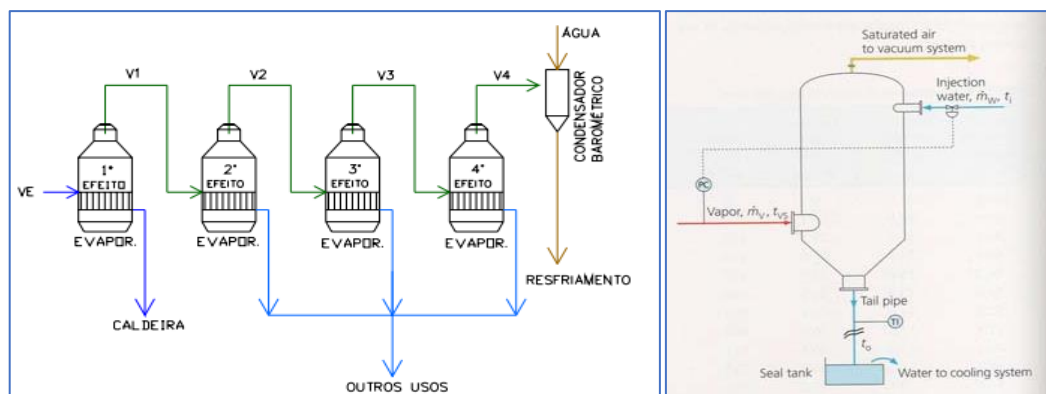


Figura 4. Fluxograma dos evaporadores de múltiplos efeitos (esquerda) e o diagrama esquemática de condensador barométrico em contracorrente (direita)

Fonte: Pimentel et al. (2004) e Rein (2007)

Assumindo que a quantidade de gás saturado para o sistema de vácuo é, por comparação, negligenciável, obtém-se o seguinte:

$$\dot{m}_v \cdot h_v + \dot{m}_w \cdot c_p \cdot t_i = (\dot{m}_v + \dot{m}_w) \cdot c_p \cdot t_o \quad (8)$$

$$\dot{m}_w = \frac{\dot{m}_v \cdot (h_v - c_p \cdot t_o)}{c_p \cdot (t_o - t_i)} \quad (9)$$

Onde: t_o – temperatura da água na saída do condensador (°C);

$\dot{m}_w$ – fluxo de água fria (kg/h);

$\dot{m}_v$ – fluxo de vapor vegetal (kg/h);

t_i – temperatura da água fresca (°C);

c_p – capacidade calorífica da água (J/kg.°C);

h_v – entalpia do vapor vegetal proveniente evaporadores e cozedores (J/Kg).

Também pode ser expressa como taxa de água (Tx) demandada por vapor condensado:

$$Tx = \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_v} = \frac{h_v - c_p \cdot t_o}{c_p \cdot (t_o - t_i)} \quad (10)$$

Verifica-se que a temperatura da água para o condensador tem um efeito significativo na quantidade de água necessária para condensar o vapor quando há uma larga diferença entre a temperatura de saída e a de entrada da água (Rein, 2007).

Na gama de pressões absolutas experimentais na prática, o numerador tem um valor constante numa margem de 1%, por isso, a equação (11) pode ser reescrita dessa forma:

$$Tx = \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_v} = \frac{570}{t_o - t_i} \quad (11)$$

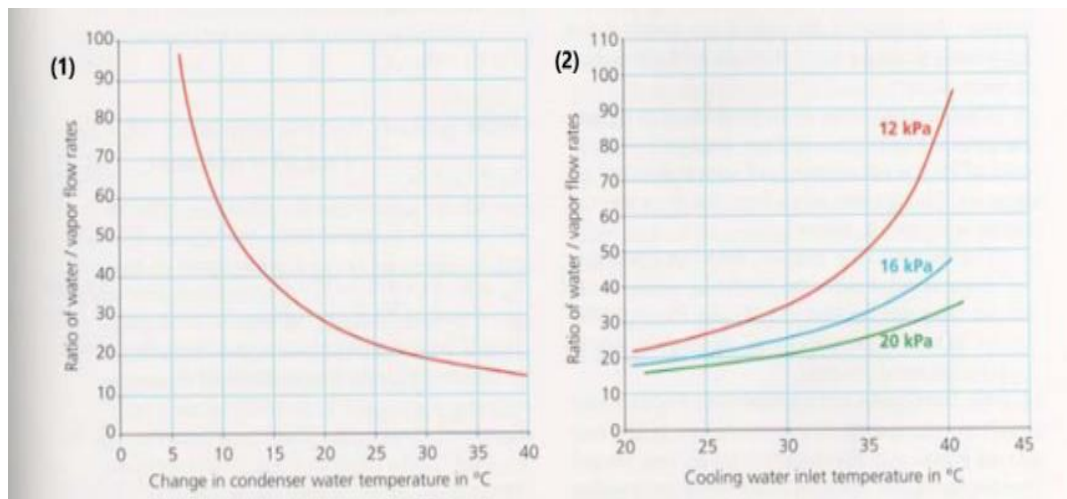


Figura 5. Taxa de água fria por vapor condensado em função da (1) diferença das temperaturas da água no condensador e da água de arrefecimento e (2) da pressão absoluta.

Fonte: Rein (2007)

À medida que a t_i aumenta, o denominador torna-se menor, da mesma forma quando a t_i se aproxima de t_o , a Tx aumenta rapidamente. A **figura 5** relaciona a taxa, Tx , com a

pressão absoluta (2) e a temperatura de entrada da água (1). Se for desejado um vácuo elevado, torna-se mais importante ter água mais fria.

Segundo Pimentel et al. (2004), os condensadores gastam cerca de 35 L de água por 1 kg de vapor condensado. Porém, como os gases são em parte incondensáveis, deve-se fornecer 40-50 L de água para resfriamento das bombas de vácuo, auxiliando assim a remoção dos gases incondensáveis que poderia corresponder 12m³/TC. Representando uma demanda considerável pelas águas das colunas barométricas que apresentam qualidade superior às demais águas residuais da indústria açucareira.

Por outro lado, Torquato Jr., et al. (2004) concluíram na sua pesquisa que as colunas barométricas têm uma necessidade hídrica nesse processo cerca de 28,46 m³/TC, tendo um valor elevado da taxa de consumo da água nos condensadores, comparado com o dado da literatura que varia de 8 a 15 m³/TC com uma média de 5,75 m³/TC (ANA, 2009).

As pesquisas feitas por Pimentel, et al., (2004) e Ribeir, et al., (1999), corroboram que a vazão de água deve ser proporcional à área dos evaporadores e cozedores, assim como a quantidade de caldo ou xarope contido nesses equipamentos. Poucas usinas possuem dados da qualidade e da quantidade desse tipo de água residual.

2.4. Torres de resfriamento

As torres de resfriamento são equipamentos utilizados para o resfriamento industrial de água, podendo ser água quente dos condensadores de usinas ou de indústrias de geração de potência, de refrigeração e trocadores de calor (Ferreira, 2012).

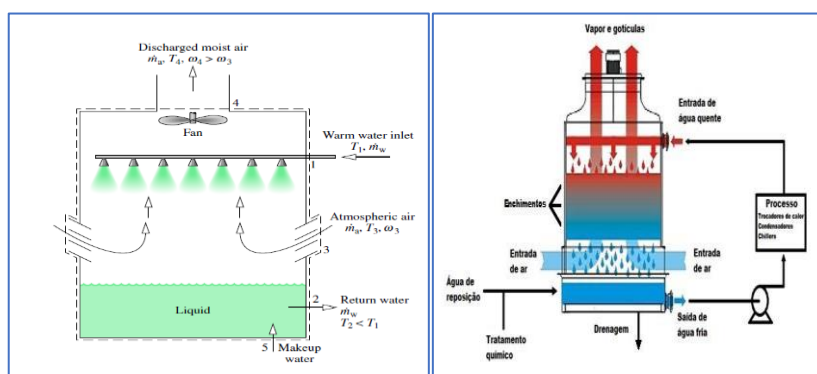


Figura 6. Esquema duma torre de resfriamento

Fonte: Moran & Shapiro (2006)

Em 1894, o engenheiro Hans Joachim Balcke inventou a primeira torre de resfriamento "chaminé". Em 1904 havia cerca de 1400 torres em funcionamento em todo o mundo.

Na década de 1920, registaram-se melhorias na tecnologia de construção e introdução da maior torre de tiragem natural do mundo. E em 1930, a primeira torre de tiragem induzida mecânica foi produzida nos EUA, e as torres de tiragem natural começaram a ser substituídas por torres de tiragem induzida mecânica (Sampaio, 2013).



Figura 7. Modelos antigos (1) e modernos (2) de torres de resfriamento de tiragens natural e mecânica em série, respectivamente

Fonte: Sampaio (2013)

2.4.1. Funcionamento das torres de resfriamento

A torre de resfriamento é uma coluna de Transferência de Massa e Calor, projectada de forma a permitir uma grande área de contacto entre as duas correntes mediante a aspersão da água líquida na parte superior da torre, isto é, nas bandejas perfuradas, colmeias de material plástico ou metálico, que aumenta o tempo de residência ou por outra, a permanência da água no seu interior e a superfície de contacto água-ar (Moran & Shapiro, 2006).

Em contraste, Ferreira (2012) explica que a água quente deve ser gotejada na parte superior da torre e descendo lentamente através de “enchimentos” de diferentes tipos, em contracorrente com uma corrente de ar frio (normalmente à temperatura ambiente). No contacto directo das correntes de água fresca com ar, ocorre à evaporação da água, principal fenómeno que produz o seu resfriamento.

2.4.2. Balanço mássico e energético

Na **figura 8** assume-se que a água quente é alimentada no topo da torre e a distribuição é considerada uniforme pelo enchimento também com o fluxo de ar ascendente uniformemente distribuído ao longo da secção transversal da torre. Desse modo, quando o ar entra em contacto com a água, a temperatura de interface (temperatura do ar

saturado) é maior que a temperatura do ar seco e menor que no interior do volume de água (Sampaio, 2013).

$$t_{gota} > t_{interface} > t_{ar\ seco} \quad (13)$$

Aplicando o balanço de energia para um volume de controlo infinitesimal tem-se:

$$d(G' * H_{ar}) = d(L' * H_{\acute{a}gua}) \quad (14)$$

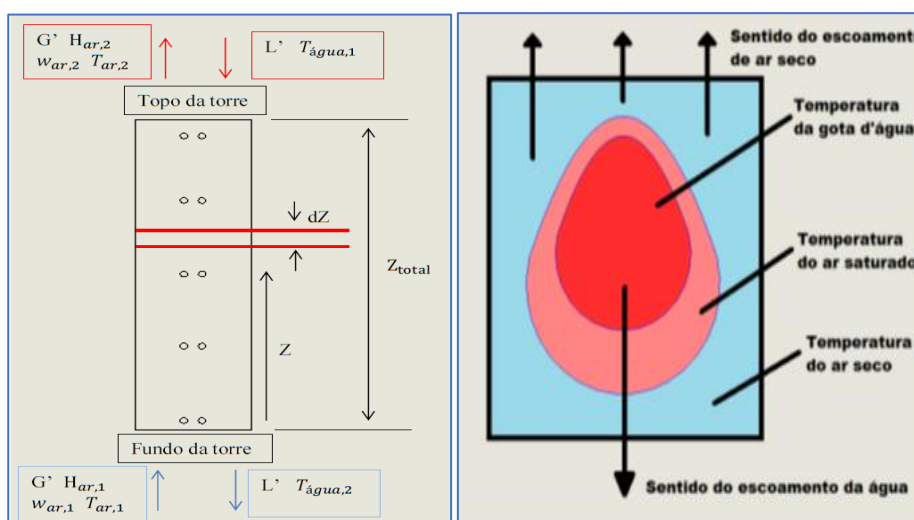


Figura 8. Balanço de massa e energia (a direita) e a representação duma gotícula no corpo da torre de resfriamento (a esquerda).

Fonte: Sampaio (2013)

Tendo os fluxos de ar e água constantes ao longo da torre sendo o fluxo de ar expresso em massa de ar seco. Supondo que a água perdida (evaporada ou arrastadas pelo ar) seja desprezível, equação (14) torna-se:

$$G' * dH_{ar} = L' * c_p * dt_{\acute{a}gua} \quad (15)$$

Aplicando o balanço em toda a torre, resulta em:

$$G' * (H_{ar,2} - H_{ar,1}) = L' * c_p * (t_{\acute{a}gua,1} - t_{\acute{a}gua,2}) \quad (16)$$

Num ponto genérico dentro da torre de resfriamento, tem-se:

$$G' * (H_{ar,2} - H_{ar,local}) = L' * c_p * (t_{\acute{a}gua,1} - t_{\acute{a}gua, local}) \quad (17)$$

Com a equação (17), calculam-se os valores de qualquer variável ao longo de uma torre de resfriamento. Entretanto, para isso se deve conhecer o estado do ar interior e utilizar uma carta psicrométrica. Geralmente isso é feito em torres com a utilização de um psicrômetro, medindo-se a temperatura de bolbo seco, e a temperatura de bolbo húmido e conhecendo-se assim o estado do ar interior.

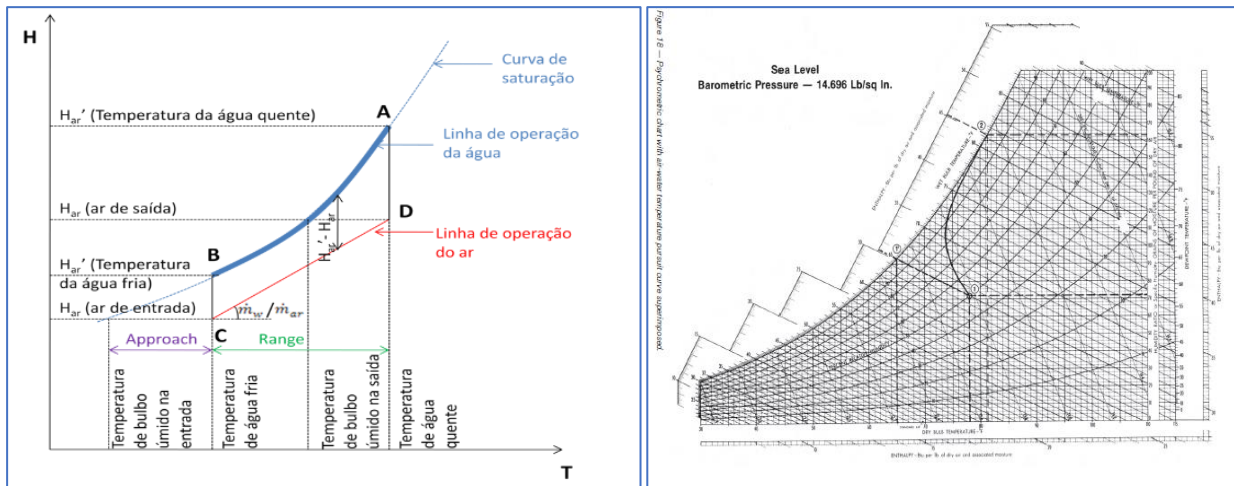


Figura 9. Curva de equilíbrio de uma torre de resfriamento e a carta psicrométrica

Fonte: Brum (2015) e SPX Cooling Technologies, Inc. (2009)

Como já referenciado por da Silva (2015), vale ressaltar que no interior das torres de resfriamento, ocorre simultaneamente, uma transferência de calor e de massa. O calor transferido pela água à atmosfera é constituído de duas parcelas principais, sendo o calor transferido por convecção (calor) e o calor transferido pela evaporação da água (massa). Desta forma, nestes dois processos escreve-se a equação:

$$dQ_{tot} = dQ_{conv} + dQ_{evap} \quad (18)$$

Convecção: o calor é transferido da água para o ar pela acção combinada da condução de calor de molécula por molécula e do transporte de energia térmica, tendo por veículo as moléculas em movimento devido ao escoamento de ar. É feita a consideração de que a temperatura da gota ou película da água é constante desde o seu interior até a superfície como indica a **figura 8**.

$$dQ_{conv} = h_{conv} * (t_{água} - t_{ar}) * dA \quad (19)$$

Onde h_{conv} é o coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m^2), $t_{água}$ é a temperatura da água ($^{\circ}C$), t_{ar} é a temperatura do ar e dA é a área de troca de calor (m^2).

Evaporação: A massa de água evaporada é transferida para o ar através de dois processos simultâneos. O primeiro deles, junto a interface, é o de difusão de moléculas de água no ar e o segundo é o do arraste destas moléculas pela corrente de ar, induzida mecanicamente.

$$dQ_{evap} = h_m * L_c * (Y_2 - Y_1) * dA \quad (20)$$

Onde dQ_{evap} , o calor transferido pela evaporação da água (W); h_m , o coeficiente de transferência de massa (kg/m^2*s); L_c é o calor latente de vaporização da água (W/kg);

Y_2 é a humidade específica do ar saturado, junto à água (kg/kg), Y_1 é a humidade específica do ar antes do contacto com a água (kg/kg) e A é a área de troca de calor (m^2).

O calor recebido pelo ar e o calor transferido da água para o ar pode ser expresso por:

$$dQ = \dot{m}_{ar/água} * dH_{ar/água} \quad (21)$$

Onde dQ é o diferencial do calor recebido pelo ar e calor transferido da água para ar; $\dot{m}_{ar}$ é fluxo mássico do ar ou da água (kg/s) e dH_{ar} é o diferencial entalpia de ar ou da água (J/kg). Sendo:

$$H_{água} = c_p * t_{água} + L_c * Y_1 \quad (22)$$

Derivando a equação (22) e substituindo na equação (23), resultam em:

$$dQ = \dot{m}_{água} * c_{p,água} * dt_{água} \quad (24)$$

Daí que fazendo a substituição das equações (21) e (23) na equação (18) tem-se:

$$\dot{m}_{água} * c_{p,água} * dt_{água} = h_{conv} * (t_{água} - t_{ar}) * dA + h_m * L_c * (Y_2 - Y_1) * dA \quad (25)$$

Desta expressão, utilizando a teoria de Markel que baseada na suposição de Lewis:

$$Le_f = 1 = \frac{h_{conv}}{h_m * c_{p,água}} \quad (26)$$

$$\text{Logo temos:} \quad h_m * c_{p,água} = h_{conv} \quad (27)$$

Por isso que a equação (24) fica:

$$\dot{m}_{água} * c_{p,água} * dt_{água} = h_m * c_p * (t_{água} - t_{ar}) * dA + h_m * L_c * (Y_2 - Y_1) * dA \quad (28)$$

$$\dot{m}_{água} * c_{p,água} * dt_{água} = h_m [(c_p * t_{água} + L_c Y_2) - (c_p t_{ar} + L_c * Y_1)] * dA \quad (29)$$

$$\text{Da expressão (22) obtém-se: } \dot{m}_{água} * c_{p,água} * dt_{água} = h_m * (H_{ar,2} - H_{ar,1}) * dA \quad (30)$$

$$\text{Ou} \quad \frac{h_m * dA}{\dot{m}_{água}} = \frac{c_{p,água} * dt_{água}}{(H_{ar,2} - H_{ar,1})} \quad (31)$$

A integração da equação (29) resulta na Equação de Merkel, dada por:

$$Me = \frac{h_m * A_e}{\dot{m}_{água}} = \int_{t_{ar,2}}^{t_{ar,1}} \frac{c_{p,água}}{H_{ar,2} - H_{ar,1}} dt \quad (32)$$

Segundo a teoria de Merkel, a transferência de calor na torre de resfriamento utiliza a diferença de entalpia como força motriz e considera que há existência de uma película de ar saturado envolvendo as gotículas de água e possui a mesma temperatura da gota. Sendo assim, há diferença de entalpia entre a película de ar e o ar da região em torno da gota, a qual gera a força motriz do processo de resfriamento como mostra a **figura 9** (Perry, 2008 apud Sampaio, 2013).

2.4.3. Tipos de torres de resfriamento

As torres de resfriamento podem ser classificadas **quanto aos fluxos relativos entre as correntes de ar e água** de duas formas: torres de fluxos em contracorrente e torres de fluxos cruzados, conforme mostra a **figura 10**. Silva (2015) destaca no seu trabalho algumas diferenças e vantagens entre os dois tipos:

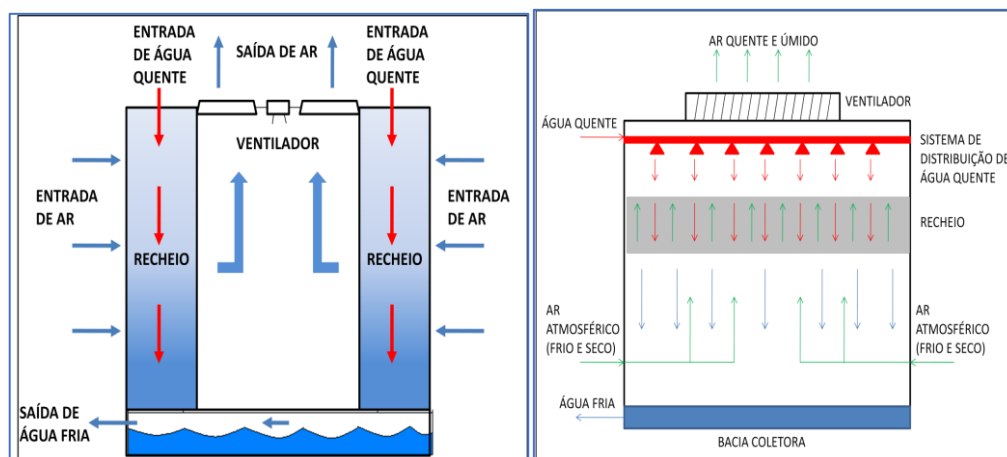


Figura 10. Torres de resfriamento de fluxo de corrente cruzado e em contracorrente.

Fonte: Silva (2015)

a) Nas **torres de fluxo em contracorrente**, a água mais fria entra em contacto com o ar mais seco, enquanto a água mais aquecida entra em contacto com o ar húmido, pois o ventilador cria um fluxo de ar ascendente no sentido contrário do escoamento da água melhorando a eficiência da torre.

b) Nas **torres de fluxo cruzado**, o acesso aos sistemas mecânicos e de distribuição são mais fáceis e a entrada de ar pode ser feita por toda a parte lateral da torre, podendo assim ser mais baixa e menos trabalho para bombeamento da água para parte superior da torre, tendo o menor risco de recirculação de ar.

Outra classificação mais difundida e de maior importância na avaliação da TR é baseada **na forma de movimentação do ar através da mesma**. De acordo com essa classificação têm-se torres de tiragem atmosférica e mecânica (Sampaio, 2013).

a) Nas **torres de tiragem atmosférica (natural) ou hiperbólica**, o fluxo de ar ocorre naturalmente pela torre. Onde o aumento da temperatura do ar em contato com a água (mais quente) no interior da torre faz o ar subir e força a entrada de um ar novo pela base da torre e a velocidade dos ventos na altura da base faz com que o processo seja acelerado e aumente sua eficiência (por isso a importância de lugares com ventos fortes).

b) Nas **torres de tiragem mecânica**, usa-se o trabalho de ventiladores para fazer a movimentação do ar em seu interior. Podem ser do tipo tiragem mecânica forçada ou

induzida. Portanto, as torres de tiragem mecânica induzida possuem um ventilador situado na saída do ar. E há possibilidade de utilizar grandes ventiladores. Logo, a manutenção é mais difícil e o gasto energético é menor do que nas torres de tiragem mecânica forçada, as quais possuem o ventilador de tamanho limitado posicionado na entrada de ar.

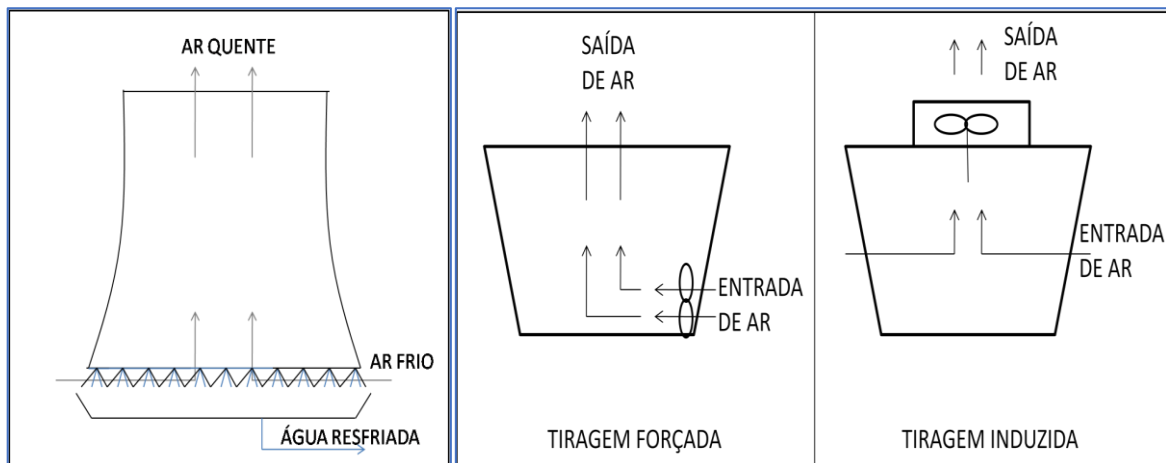


Figura 11. Torre de tiragem hiperbólica e de tiragem mecânica (forçada e induzida)

Fonte: Silva (2015)

2.4.4. Conceitos fundamentais

No projecto de concepção e dimensionamento de torres de resfriamento é importante saber-se alguns conceitos fundamentais. Os autores Ferreira (2012), Sampaio (2013) e Moran & Shapiro (2006) apresentam esses conceitos de seguinte forma:

Range: O range de uma torre de resfriamento é definido como a diferença das temperaturas de alimentação da torre (água quente de entrada) e de devolução da torre (água de saída, resfriada) — **Figura 12;**

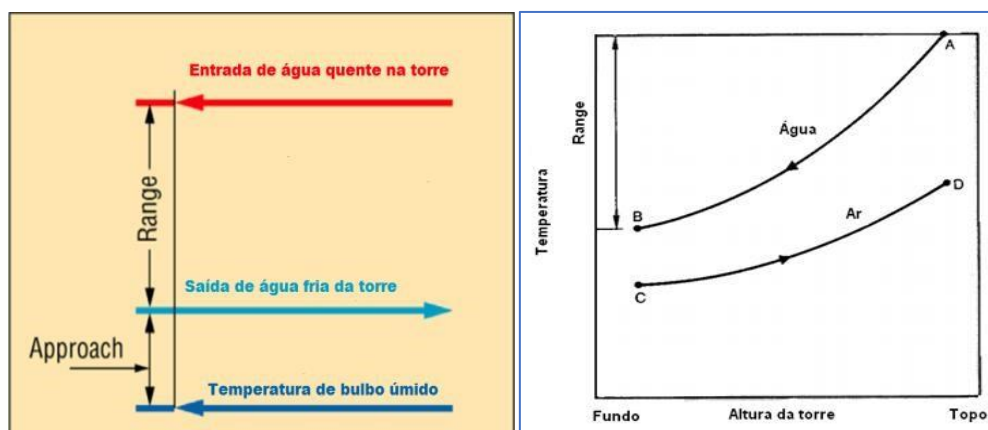


Figura 12. Representação gráfica de Range e Approach no processo de resfriamento

Fonte: Sampaio (2013)

Approach: O approach de uma torre de resfriamento é a diferença das temperaturas de devolução da torre (água de saída, resfriada) e da temperatura de bolbo húmido do ar na entrada da torre (**Figura 12**);

Ponto de orvalho: refere-se a temperatura em que o vapor da água contido no ar se condensa, equivalendo à temperatura de saturação da água na pressão parcial do vapor contido (**Figura 8**);

Temperatura de bolbo seco: refere-se a temperatura ambiente de ar, medida por termómetros convencionais de temperatura (**Figura 8**);

Temperatura de bolbo húmido: é a temperatura em que ocorre o equilíbrio entre a vaporização da água e o fluxo de calor sensível do ar para a água, medida colocando um pano molhado na ponta dum termómetro em contacto com o ar (**Figura 8**); essa temperatura pode ser determinada pelo balanço de calor no equilíbrio tendo a temperatura de bolbo seco constante, pela equação (32) ou pela carta psicométrica-**figura 9** (Perry, 1997 apud Silva, 2015):

$$h_c \cdot (t_{db} - t_{wb}) = h_m \cdot \lambda \cdot (P_{swb} - P_v) \quad (33)$$

em que:

h_c = coeficiente de transferência de calor por convecção ($W/m^2 \cdot ^\circ C$),

t_{db} = temperatura de bolbo seco (da mistura de ar e vapor de água) ($^\circ C$);

t_{wb} = temperatura de bolbo húmido ($^\circ C$);

h_m = coeficiente de transferência de massa ($kg/m^2 \cdot s \cdot Pa$);

λ = calor latente de vaporização (J/kg);

P_{swb} = pressão de vapor da água à temperatura de bolbo húmido (Pa);

P_v = pressão parcial do vapor de água no ambiente (Pa).

A carga térmica: representa o calor removido da torre de resfriamento, e é dada por:

$$Q = C_{p_{\text{água}}} \cdot m_{\text{água}} \cdot (t_{\text{água},1} - t_{\text{água},2}) \quad (34)$$

Eficiência da torre de resfriamento: o conceito de eficiência de resfriamento, é dado pela razão entre a faixa real e a faixa ideal, ou seja, diferença entre a temperatura de entrada da água de resfriamento e a temperatura ambiente do bolbo húmido, quanto maior essa relação, maior será a eficácia da torre de resfriamento.

$$\eta_{TR} (\%) = \frac{t_e - t_s}{t_e - t_w} \cdot 100\% = \frac{Range}{Approach} \cdot 100\% \quad (35)$$

2.4.5. Descrição dos componentes do equipamento

A torre de resfriamento é constituída por componentes básicos ilustrados na **figura 13**, nomeadamente a carcaça ou estrutura, separador de gotas, sistema de distribuição, enchimento e bacia. Os autores da SPX Cooling Technologies, Inc. (2009) e Sampaio (2013) descrevem-nos de seguinte modo:

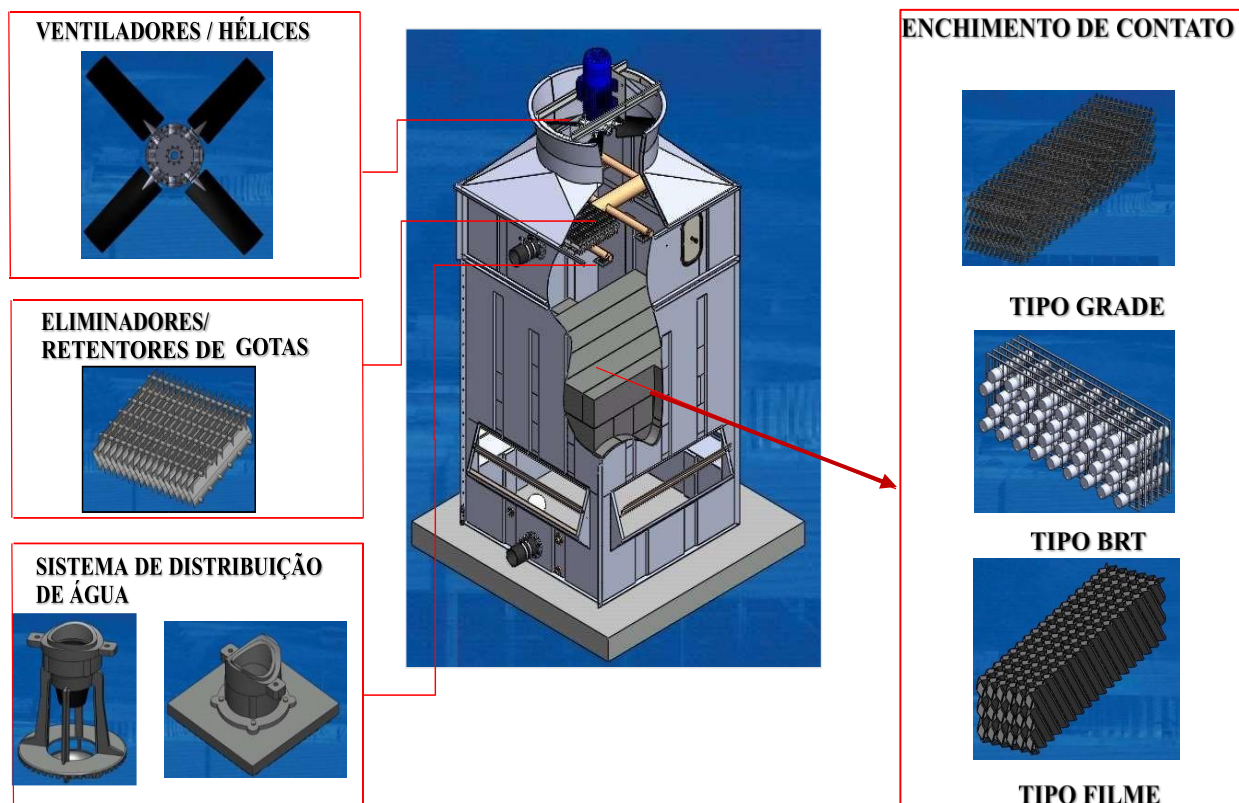


Figura 13. Componentes básicos duma torre de resfriamento

Fonte: Elaboração própria (2024)

- **Separador de gota:** tem a finalidade de diminuir a quantidade de água perdida sob forma de gotas de pequeno diâmetro que são arrastadas pelo ar que circula através da torre no processo de resfriamento, pois, são removidas as gotas de água misturadas na corrente de ar como resultado da força centrífuga gerada nas bruscas mudanças de direcção sofridas pela corrente de ar ao circular nas superfícies rugadas. As gotas de água aderem à superfície e retornam para o interior da torre.
- **Sistema de distribuição:** constituído pelos componentes que distribuem a água quente dentro da torre nas regiões mais adequadas ao contacto com o ar. Onde estão incluídos os pulverizadores alimentados com pressão de água adequada para garantir a pulverização da água visando aumentar a superfície de troca de calor e massa, criando

uma resistência hidráulica à passagem da água que deve ser computada no cálculo da altura manométrica da bomba de água de condensação.

- **Enchimento (*fill*):** É o componente que mais influencia⁴ no desempenho térmico da torre. Que visa aumentar o tempo de residência da água no interior da torre e a superfície de TCM, possibilitando maior capacidade térmica da torre.
- **Bacia/Tanque:** Parte inferior da torre onde é armazenada a água resfriada. Por ser o local onde são depositadas as impurezas removidas do ar deve apresentar facilidade de limpeza e drenagem, e ser protegida por telas para evitar a entrada de impurezas e pássaros. A profundidade da bacia deve ser suficientemente profunda de modo a manter uma reserva de água no caso de interrupção da água de reposição.

⁴ Outros factores: a área de troca térmica por volume, fluxos de ar e água laminar ou turbulento, perda de pressão estática do ar, distribuição uniforme do ar e água e resistência ao entupimento por sedimentação e corrosão em suas passagens provocadas por substâncias sólidas suspensas ou dissolvidas na água.

CAPÍTULO III

3 Caso de Estudo

3.1. Grupo Tongaat Hulett

Tongaat Hulett Group é uma multinacional sul-africana que opera no ramo de agronegócio, líder em açúcar, etanol, ração animal e gado, com uma significativa base de activos e presença na África Austral que foi formada em 1892 por meio de uma fusão entre a *Hulett Corporation Limited* e a *Tongaat Group Limited*, estando ambas em operações desde 1800, e tendo sido cotada no mercado primário de Bolsa de Valores de Joanesburgo em 1952.



Figura 14. Logotipo da Tongaat Hulett Group

Fonte: Tongaat Hulett (2023)

Tongaat Hulett Group está em quatro países da África Austral operando em importantes instalações de cana-de-açúcar sendo uma oportunidade para aumentar a produção de etanol e a geração de eletricidade (Tongaat Hulett, 2023).



Figura 15. Mapa das instalações de produção cana-de-açúcar na África Austral

Fonte: O’Laughlin & Ibraimo (2013)

Em Moçambique, existem duas fábricas com a capacidade de moagem combinada superior a 340.000 t/ano de cana-de-açúcar. No Zimbábue, as duas instalações têm uma capacidade instalada de moagem combinada de 640.000 t/ano, enquanto a capacidade total de açúcar refinado é de 60.000 t/ano, a marca *Hulett's Sunsweet®* é a líder de açúcar no país. A instalação em Botswana tem capacidade para embalar e distribuir 60.000 t/ano de açúcar usando a marca líder de mercado *Blue Crystal* (Tongaat Hulett, 2023).

3.2. Grupo *Tongaat Hulett* em Moçambique

O Grupo *Tongaat Hulett* em Moçambique é um dos maiores empregadores do sector privado em Moçambique, com duas fábricas de açúcar e os seus campos de cana-de-açúcar ao redor. Adquiriu a sua participação em duas fábricas e campos de cana em 1998. Actualmente conta com participação de 85% na Açucareira de Moçambique e 88% de participação na Açucareira de Xinavane, e o restante das acções são detidas pelo Governo de Moçambique (Tongaat Hulett, 2023).

Os engenhos de açúcar em Xinavane e Mafambisse produzem açúcar a partir da cana cultivada por uma combinação de produtores de pequena e grande escala e nas suas próprias propriedades.

Entretanto, entendem que a expansão das ofertas de cana-de-açúcar por meio de estabelecimento de pequenos produtores pode ajudar a garantir a sustentabilidade dessas comunidades, atendendo também a diversos objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (Tongaat Hulett, 2023).

3.3. A *Tongaat Hulett*: Açucareira de Moçambique, S.A. em Mafambisse

A empresa em estudo situa-se nas margens do rio Púnguè, no distrito de Dondo, na província de Sofala, a cerca de 50 km para o interior da Beira, originalmente construída em 1965 e modernizada no final dos anos 1980 a um custo de USD 50 milhões.



Figura 16. Localização geográfica da unidade fabril da *Tongaat Hulett*: Açucareira de Moçambique, S.A

Fonte: Elaboração própria (2024)

A *Tongaat Hulett*: Açucareira de Moçambique, S.A. em Mafambisse é constituída por 9 direcções, como se descreve o organograma da seguinte ilustração na **Figura 17**.

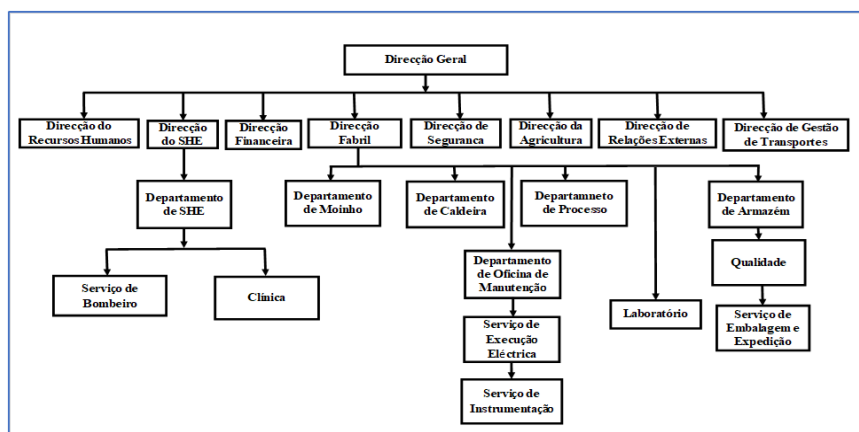


Figura 17. Organograma estrutural da Tongaat Hulett: Açucareira de Moçambique, SA-Mafambisse

Fonte: Elaboração própria (2024)

3.4. Processos de produção de açúcar na Tongaat Hulett: Açucareira de Moçambique, SA.

Na empresa em estudo, o processo de produção do açúcar tem o seu início na colheita da cana nos campos de plantação e transporte para a planta fabril. Em seguida, decorrem diferentes etapas de processamento desde operações unitárias mecânicas e processos de separação com gama tecnologia e esforços humanos para se conseguir a produção de açúcar com devida qualidade.

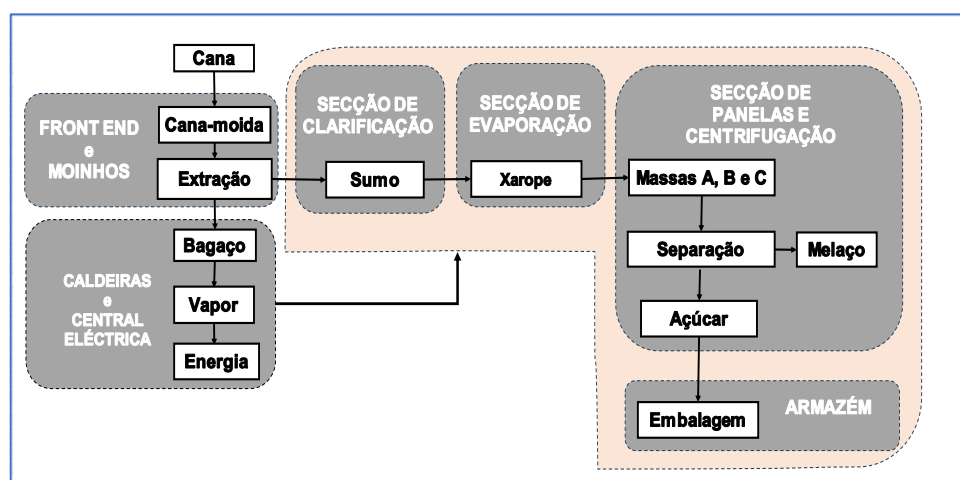


Figura 18. Fluxograma e esquema produção da Açucareira de Moçambique, SA.

Fonte: Elaboração própria (2024)

As etapas de produção de açúcar da cana na empresa em causa, são as seguintes:

- I. **Extracção da matéria-prima:** do campo de cultivo até a mesa de alimentação.
- II. **Extracção do sumo:** faz-se a extracção do sumo por meio de moimhos.

III. Processos de produção de açúcar: que se divide em 4 secções cruciais:

- Secção da Clarificação: onde se faz o tratamento do caldo;
- Secção dos Evaporação: remove-se a água empregando os evaporadores;
- Secção de Cristalização: nela concentra-se o xarope, observando-se assim a formação dos primeiros cristais;
- Secção das Centrífugas e Secagem: separa-se os cristais do melaço e secam-se os cristais obtidos, isto é, o açúcar, o produto final.

IV. Embalagem e expedição.

3.5. Descrição das etapas dos processos de produção de açúcar

A seguir tem-se a descrição das etapas mencionadas acima na secção 3.4, para a produção de açúcar na fábrica em estudo.

3.5.1. Extracção da matéria-prima

Consiste na colheita da cana nos campos de cultivo até a *Front End* – a mesa de alimentação, onde é feita a pesagem, descarregamento, preparação da cana.

3.5.1.1. Colheita da cana nos campos de cultivo e transporte a planta fabril

Após 12 meses do plantio, a cana já está madura, é feita a queima para remoção das folhas em volta, garantindo o alto rendimento de corte manual, entregando assim a cana limpa para moinhos e elimina os problemas de quantidades de lixo deixados no campo. Em seguida, é feito o corte manual e a cana é transportado pelos camiões à planta fabril.



Figura 19. Campo de cultivo e corte mecânico da cana-de-açúcar feita pelo operário

Fonte: Elaboração própria (2024)

Para além da cana produzida pela empresa nos campos de Mafambisse e Lamego, há compra da cana proveniente dos fornecedores existentes, e esta cana privada é transportada em camiões contratados pelos próprios fornecedores de cana.

3.5.1.2. Pesagem da cana

A cana é transportada em camiões ou tractores, pesa-se na entrada em balanças de plataforma de pesagem. A pesagem da cana é essencial, pois permite quantificar os pagamentos de cultivadores de cana, com base nos pesos, e também permite o controlo da quantidade das entradas feitas a unidade fabril.

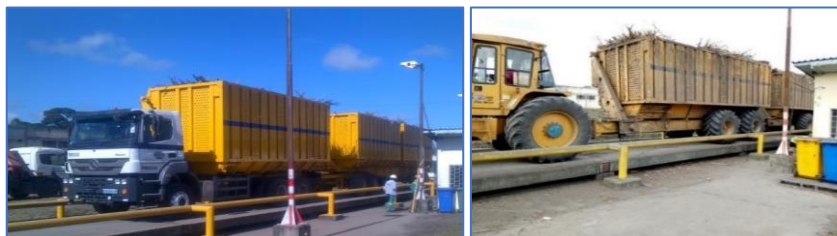


Figura 20. Plataforma de pesagem de camiões

Fonte: Elaboração própria (2024)

3.5.1.3. Descarregamento da cana

A cana descarrega-se pela parte lateral do atrelado do camião na mesa de alimentação que consiste nos condutores largo e curto, movido por um motor independente. O nível do estrado superior deve chegar a cerca de 2 m acima do nível do condutor principal e ser quase vertical a parede que limita o condutor do lado da mesa.



Figura 21. Descarregamento da cana na mesa de alimentação

Fonte: Elaboração própria (2024)

3.5.1.4. Preparação da cana

Na empresa, a preparação da cana para moagem é efectuada por meio de facas e trituradoras, aumentando o rendimento das moendas através da diminuição do tamanho da cana e rompendo a estrutura da cana, promovendo assim maior área de superfície de contacto com o fluido de embebição facilitando a extracção do sumo e moagem. Por consequente, o elevador alimenta as facas primárias e secundárias.

3.5.1.4.1. Facas primárias

Faz-se a primeira preparação da cana cujo objectivo é reduzir os tamanhos de modo a facilitar passagem pelo desfibrador, expondo as células da cana transportadas por um

transportador inclinado para as facas secundárias. São 42 facas primárias de 15 kg cada, accionadas por um motor eléctrico de 800 kW, 737 rpm e 6600 V.

3.5.1.4.2. Facas secundárias

As facas secundárias têm o mesmo princípio das primárias, reduzem ainda mais o tamanho da cana, direccionando-a para o desfibrador. São 80 facas com o peso de 15 kg cada accionado por motor eléctrico de 375 kW de potência e 585 rpm e 6.600 V.

3.5.1.4.3. Desfibrador (triturator)

A empresa tem instalado um desfibrador modelo Searby⁵, um desfibrador de martelos, funcionando numa caixa em ferro fundido. A cana chega à parte superior por um chute e sai moída entre barras fixas, distribuídas na parte inferior de pequena distância dos círculos de alcance dos 160 martelos de 15 kg, accionado por um motor eléctrico de 1.800 kW, 988 rpm e 6.600 V, com a finalidade de desfibrar a cana, expondo as células no sentido de facilitar extracção do sumo. O nível de preparação da cana é controlado uma vez em cada turno no laboratório, onde se avalia a eficiência do desfibrador com o índice de preparação variando entre 90 a 92, e a recolha da amostra da cana deve ser feita em cada 20 minutos para analisar o Brix e Pol da cana.



Figura 22. Lotes de facas primárias (1), secundárias (2) e desfibrador modelo Searby (2).

Fonte: Curumba (2016)

3.5.2. Extracção do caldo

Após as operações mecânicas de desfibração da cana, segue a extracção de caldo ou o sumo misto da cana desfibrada, usando os moinhos em contracorrente.

3.5.2.1. Moinhos

A empresa possui um conjunto composto por seis (6) moinhos com a perspectiva de extrair maior quantidade de Pol retida no bagaço proveniente dos moinhos antecedentes

⁵ Para Hugot (1969), o desfibrador (Shredder) é um aparelho empregado para completar a preparação e a desintegração da cana, para facilitar a extracção do sumo pelas moendas.

extraindo em contracorrente usando água quente como solvente. Os cinco (5) moinhos funcionam por turbinas a vapor proveniente das caldeiras 1 kPa e outro (1) moinho movido a corrente eléctrica (Mill 2) ligados em série e alimentados por transportadores ou elevadores. A cana já desfibrada entra no moinho através do chute com cerca de 50% de humidade sem nenhum vestígio de metal, porque está instalado um separador magnético plano de 6.8 t atraindo os pedaços de metais existentes.

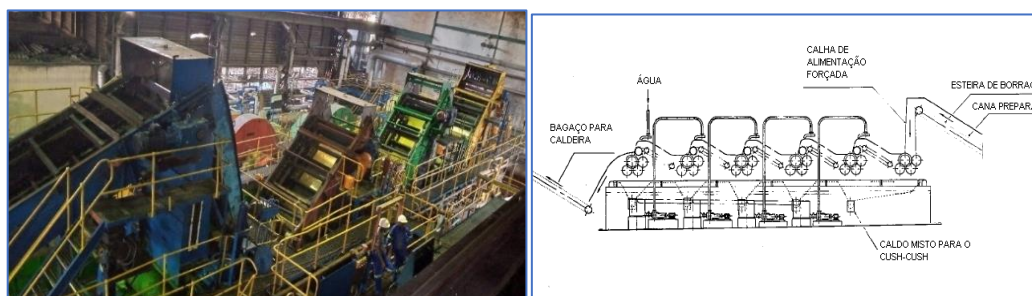


Figura 23. Conjunto de moinhos

Fonte: Elaboração própria (2024) e Pereira (2010)

O *Mill 1* extrai o sumo puro sem a adição da água com uma eficiência de 70 a 75%. O sumo vai para o tanque da 1.^a pressão. Depois disso, os moinhos, *Mill 2* a *Mill 5*, fazem a extracção em contracorrente juntamente com o sumo de cada moinho. Subsequentemente, o *Mill 6* recebe a água de embebição a uma temperatura aproximada de 80°C, adicionando a humidade do bagaço final (<50%), com alguma percentagem de sacarose restante. Dessa forma, é espremida para fora do *Mill 6*, e este sumo extraído, finalmente, é bombeado para o bagaço da cana que entra no *Mill 5*. O sumo do *Mill 4* é bombeado para embeber o bagaço da cana que entra no *Mill 3*, por sua vez o sumo do *Mill 3* é bombeado para embeber o bagaço do *Mill 2*. O bagaço do *Mill 6* é transportado para as caldeiras para produção do vapor com 96.5% de uma eficiência de extracção. Em seguida, o sumo do *Mill 2* vai para tanque de 2.^a pressão. O sumo de *Mill 1* denomina-se sumo de 1.^a pressão, transportado para o filtro rotativo 1 através das bombas centrífugas, e o do *Mill 2* denomina-se sumo da 2.^a pressão para filtro rotativo de tambor 2. Misturando-se no tanque de sumo misto o bagaço retido pelos filtros que vão para o transportador do *Mill 2*.

3.5.3. Processos produção de açúcar

Portanto, o sumo proveniente do tanque de sumo misto dos moinhos é bombeado e passa pela balança de sumo misto e descarregado no tanque do sumo misto dos processos, fornecendo a quantidade desejada nos processos.

3.5.3.1. Secção da Clarificação

Quando o sumo vem dos moinhos, passa pela balança do sumo misto, e é descarregado no tanque do sumo misto. O tanque do sumo misto contém duas bombas. Aciona-se uma bomba de cada vez por questões de contingência durante a operação. No entanto, quando acionada a bomba do sumo misto, é bombeado o sumo misto aos aquecedores e, em seguida este é bombeado aos clarificadores e por fim, aos filtros.

3.5.3.1.1. Aquecedores

Na empresa, estão instalados 9 aquecedores verticais para o sumo misto, sendo 4 aquecedores primários, 4 secundários e 1 terciário. No seu funcionamento, o sumo bombeado passa meramente nos aquecedores primários, em seguida, aquecedores secundários e por fim, aquecedor terciário. Esses equipamentos têm a função de eliminar os possíveis micróbios que não tenham sido eliminados no processo de extracção do sumo nos moinhos através da água de embebição⁶. É garantido que o sumo sai do aquecedor terciário com uma temperatura de 105 °C. Tendo atingido a temperatura desejada. Deste modo, é adicionado a cal – com função de neutralizar as impurezas e facilita a clarificação do sumo. Tendo adicionado a cal, desce o sumo pelo tubo U. À medida que este desce pelo sem fim, se mistura com a cal.



Figura 24. Aquecedores de sumo misto: primários, secundários e terciário

Fonte: Elaboração própria (2024) e Hugot (1969)

Em seguida, a mistura é conduzida ao *flash tanque*, onde os gases são libertos e conseqüentemente, se reduz a temperatura do sumo misto de 105 °C a 100 °C, onde é adicionado o **floculante**⁷ – que concentra as partículas de modo a criar sedimentação. Após a adição da cal, há queda da temperatura e adiciona-se o flocculante, por fim o sumo passa dum separador que o direciona aos clarificadores.

⁶ Usa-se como água de embebição, a água quente dos condensados provenientes dos evaporadores de segundo efeito em diante.

⁷ Floculante usado é a Policrilamida (LT AG27 numa proporção de 3.3 ppm).

3.5.3.1.2. Clarificador

A secção de clarificação tem dois clarificadores que são alimentados através do tanque separador outrora mencionado que serve para sedimentar as partículas suspensas vindas do sumo misto para a obtenção do sumo claro. O sumo da clarificação depende dos elementos aditivos ao sumo (a cal e o floculante).

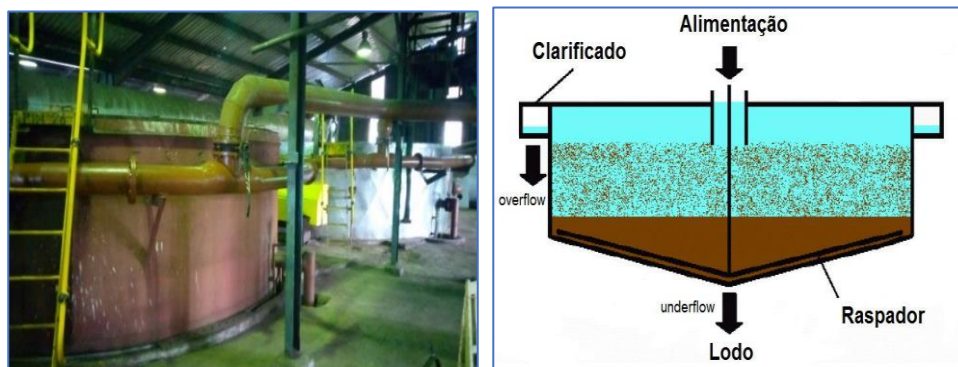


Figura 25. Clarificadores de sumo misto

Fonte: Elaboração própria (2024)

Enquanto as partículas suspensas sedimentam, o sumo clarificado sobe em forma de transbordo e passa dos filtros que removem outra vez as partículas não sedimentadas. Após passar do filtro, é então obtido o sumo claro, sendo descarregado ao tanque do sumo claro que será bombeado à secção de evaporação.

3.5.3.1.3. Filtros

Quanto ao lodo resultante do processo da sedimentação no clarificador é levado ao tanque de lodo, adiciona-se o bagaço como elemento filtrante. Portanto, se usa filtros rotativos a vácuo para facilitar a actuação do vácuo, acompanhado de *spray* de água. Sendo filtrado, tem-se o sumo filtrado e a Pol para o rejeito, o sumo vai para o tanque do sumo misto, quanto ao pol é feito o reuso na adubação do campo.



Figura 26. Filtros rotativos a vácuo

Fonte: Elaboração própria (2024)

3.5.3.2. Secção de evaporação

Depois da secção de clarificação, o sumo claro é retirado do tanque e bombeado aos dois aquecedores do sumo claro, garantindo a sua saída a uma temperatura de 112 °C a 115 °C. O reaquecimento do sumo facilita o processo de evaporação. Em seguida, alimenta-se os evaporadores que removem uma boa parte de água existente no sumo claro. Nesta secção, usa-se os dois grupos de evaporadores: grupo A e grupo B, configurados em múltiplos efeitos. No **grupo A** tem A1.I, A1.II, A2, A3, A4 e o **grupo B**, B1, B2, B3, B4; no entanto, são 9 evaporadores em disposição para a operação.

Depois do reaquecimento do sumo, segue ao tubo separador, que divide o sumo para os grupos de evaporadores A e B, como o caso de A1.I e B1. Estes após receberem o sumo e o vapor de escape, evaporam a boa parte de água contida no sumo e vão passar para os seus respectivos elementos do grupo.



Figura 27. Grupos de Evaporadores tipo Robert: grupo A e grupo B

Fonte: Elaboração própria (2024)

Os evaporadores A1.I e B1 de primeiros efeitos recebem o vapor de escape e têm tubos de diâmetros menores na calandra que promove maior área de transferência de calor, enquanto nos efeitos subsequentes o diâmetro dos orifícios de circulação do fluido é maior. É nos primeiros efeitos que se verifica a geração de grande parte de condensados e também há libertação de gases residuais.



Figura 28. Válvula automática para-o controlo de condensados contaminados

Fonte: Elaboração própria (2024)

Quando os condensados são contaminados, há uma válvula automática que faz a leitura, *accept* e *rejeit*. É *accept* quando água não for contaminada e pode ser careada nas caldeiras, é *rejeit* quando a água é contaminada, que passa a ser de uso interno no processo (água quente).

Também nestes evaporadores de primeiros efeitos, gera-se vapor para alimentar os evaporadores de 1.º efeito e os demais corpos alimentam-se do vapor gerado no efeito precedente para a sua execução a nível interno do processo. Nos últimos efeitos, tem-se a actuação de vácuo por meio dos condensadores barométricos que condensa o vapor dos últimos efeitos com água de injeção a 135 kPa e 25 °C, criando o vácuo. E as bombas de vácuo são usados para extrair o calor nos condensadores e por sua vez são arrefecidos pela água bruta captada do rio à temperatura de 25 °C.

Nesta operação de evaporação resulta o xarope, um fluido quase amarelado e contém um *Brix* entre 65% a 68%, onde é descarregado e bombeado ao tanque de xarope, na secção de cristalização. Para a efectivação das operações, faz-se o controlo do fluxo, temperatura, o vácuo e vapor.

3.5.3.3. Secção de cristalização

Recebido o xarope na secção das painéis, é distribuído o xarope aos demais tanques e passando por três filtrações que removerem do xarope o lodo e partículas não sedimentadas e também removem dos *remelts* partículas com restos de sacos, metais, madeiras e entre outros. Estes *remelts*⁸ são juntados ao tanque do xarope.

Após filtrado, o xarope passa pelas bombas para ser bombeado ao tanque Aço Inox. E quando der *overflow*, é bombeado ao tanque de reserva de xarope. Portanto, cinco tanques recebem o xarope e o tanque Aço Inox que alimenta as painéis. A secção de cristalização tem 8 painéis (*Pan 1, Pan 2, Pan 3, Pan 4, Pan 5, Pan 6, Pan 7 e Pan 8*) e tem no total 15 bombas de vácuo para as painéis que resfria os gases incondensáveis proveniente do cozimento nas painéis.

Esta secção tem a função de cozer o xarope para formação dos primeiros cristais de açúcar, pelos processos detalhados a seguir:

⁸ Remelts refere-se à solução diluída proveniente da refundição de Açúcar C, de todo açúcar rejeitado e do pó recuperado de secador feita nos fornos de refundição 1 e 2 em seguida misturado com sumo Clarificado obtendo-se uma solução açucarada igual do xarope, com Brix entre 63% a 68%.

3.5.3.3.1. Painelas

Para o bom funcionamento das painelas, o cozedor deve garantir que a painela esteja totalmente fechada, isto é, mantendo todas as válvulas ou componentes fechados. Depois, introduz-se o vapor interno para aquecer até atingir 100 °C. Abre-se a água de injeção seguida da bomba para obter-se um vácuo entre 88 kPa a 92 kPa. Tendo atingido o vácuo desejado, a temperatura tenderá a equilibrar-se. Após a painela marcar o vácuo esperado, introduz-se o xarope até um nível normal para o controlo.



Figura 29. Painelas descontínuas de James Brown & Hammer LTD

Fonte: Elaboração própria (2024)

Se no xarope tiver cristais, introduz-se a água para dissolução do grão, mas sempre controlando a temperatura e o vácuo. Este último é que faz com que haja a concentração no sistema. Atingido a supersaturação, faz-se o famoso “teste de dedos” que estima a qualidade de xarope para começar a sementeira (introdução do *Slurry*), fazendo o controlo através das sondas a formação dos cristais. Observa-se minuciosamente a quantidade e a qualidade dos cristais em geração através dos microscópios.

Tabela 5. Caracterização das estações de cozimento de açúcar.

Estação	Alimentação	Massa Produzida	Brix das Massas	Produto	Tipo De Açúcar
A (Pan 4 e 5)	Xarope (Xarope Puro + Remelts) e Magma	Massa A	92% a 93%	Açúcar A e Melaço A	Açúcar comercial
B (Pan 6 e 7)	Massa A (Melaço A)	Massa B	93% a 95%	Açúcar B e Melaço B	Magma
C (Pan 8)	Massa B (Melaço B)	Massa C	95% a 96,5%	Açúcar C e Melaço Final	Remelt

Fonte: Elaboração própria (2024)

Ao notar que os cristais formados satisfazem a qualidade e a quantidade desejada, abre-se 20% ou 30% da válvula de água par evitar a criação de cristais indesejados. A água não só impede a formação dos cristais indesejados, também ajuda na circulação para o desenvolvimento do grão. Tendo a panela atingido o nível padrão, reparte-se o produto às panelas de semente (Pan 1 e Pan 2) para darem continuidade com a multiplicação, também pode passar-se às panelas grandes (Pan 4 e Pan 5) do açúcar comercial. As Painelas Pan 1, Pan 2 e Pan 3 fazem semente e servem de estoque. Havendo a necessidade Pan 3 coze qualquer tipo massa, as painelas Pan 4 e Pan 5, fazem Massa A, as painelas Pan 6 e Pan 7 fazem Massa B e Pan 8 faz Massa C.

3.5.3.3.2. Recebedores

Os recebedores são equipamentos que recebem as descarregas das painelas. Amplamente, são equipamento fechados, projectados para evitar que as descargas de massas nelas enviadas por acção de gravidade não transbordem, com menor tempo de residência das massas cozidas, evitando que a massa enviada aos recebedores seque nestes equipamentos. Estes possuem mexedores no seu interior, com a finalidade de desabilitar a inércia da massa. Tem cinco recebedores, dos quais, dois A1 e A2 para Massa A, dois (2) B1 e B2 de Massa B e um (1) C de Massa C.



Figura 30. Recebedores Fives Lille Cail.

Fonte: Elaboração própria (2024)

3.5.3.3.3. Cristalizadores

Os cristalizadores têm a função, no entanto, de nutrir ainda mais os cristais pré-cristalizados nas painelas. Os cristalizadores estão dispostos em série, o que facilita o crescimento genuíno dos cristais e maior recuperação do licor-mãe nos cristais. Enquanto, cristal sai de um cristalizador para outro, vai se cobrindo e melhorando o tamanho até o último estágio de cristalização. Tem-se 12 cristalizadores, onde: seis (6) são de Massa A, um (1) de Massa B e cinco (5) de Massa C. E antes que esta última

massa seja descarregada, passa por dois reaquecedores, onde ela é reaquecida para facilitar a centrifugação desta, pois a sua densidade é alta.

3.5.3.4. Secção de Centrifugação e Secagem

A secção recebe as três massas através dos cristalizadores, destas são: Massa A (Comercial), Massa B (para a preparação do *Magma*) e Massa C (para a refusão-*Remelt*). Chegadas as massas na secção das centrífugas, são direccionadas para as suas respectivas centrífugas.

3.5.3.4.1. Centrífugas

A secção contém 12 centrífugas que são: para a Massa A duas (2), A7, A8; para a Massa A e B cinco (5) B1, B2, B3, B4, B5; para a Massa A e C quatro, C1, C2, C3, C4 e uma (1) mista (Massa B ou C). Direccionadas as massas, a Massa A vai a um recipiente com funções e forma de recebedor que é chamado de “*Mingla*”. Na *Mingla*, a Massa é mexida para evitar-se que as moléculas da sacarose estejam em inércia fazendo assim com a massa seque dentro da *Mingla*. Após mexida, a massa entra nas centrífugas descontinuas A7 e A8.



Figura 31. Centrífugas contínuas de massas B e C (Broadbent e Robert) e centrífugas descontinuas Broadbent & Sons LTD.

Fonte: Elaboração própria (2024)

A massa é centrifugada e se verifica a separação do grão no melaço, onde, o processo acontece num tempo determinado. Neste tempo do processo de separação, tem um tempo de dosar o açúcar em centrifugação com água, tempo de adicionar o vapor e por fim, tem o tempo de descarga. Os produtos são açúcar A (Comercial) e Melaço A.

O açúcar A é descarregado no tapete e daí vai ao secador. Enquanto a Massa B desce ao *Manifold* (um tubo distribuidor de massas para as centrífugas), este *Manifold* alimenta as centrífugas contínuas observando todo o tempo antes referido (tempo de dosar água e abrir o vapor); posteriormente, é separado o grão do melaço. O melaço e o açúcar resultante são denominados de melaço B e açúcar B, respectivamente. Após isso, o grão

de açúcar B é usado para preparar Magma⁹ que é bombeado à secção das painelas onde é mantido num recipiente chamado tanque de Magma. Este magma facilita a cristalização da Massa A, diferente da preparação da massa A que é alimentado de xarope e se controla com água na painela.

A Massa C, passa por *Manifold*, que dá as centrífugas também contínuas, apenas se controla o vapor e a dosagem de lavagem. Nesta estação tem-se como resultante da centrifugação, o então melaço final e o açúcar C (partículas minúsculas). O melaço final já não tem utilidade para o processo, é tirado para ser armazenado fora da fábrica e é vendido; e o açúcar é refundido para se fazer o *Remelt*—obtido através com água quente, vapor e mexedor. Controla-se o *Brix* de modo que se não possa afectar o *Brix* do xarope proveniente dos evaporadores, porque ambos são misturados no tanque do xarope que se encontram na secção da cristalização. O *Brix* do *Remelt* deve estar entre 65% a 68%. Este refundidor é chamado de refundidor 1. E o seu produto é o *Remelt* 1.

3.5.3.4.2. Secador

O açúcar proveniente do tapete é carregado pelo elevador até secador. É introduzido este ao secador à uma temperatura aproximada de 80 °C a 84 °C. Após a secagem, o açúcar é conduzido ao ciclone, nela actua uma força negativa similar à de vácuo, com o intuito de remover toda a poeira resultante de transferência de açúcar de um ponto ao outro no processo de secagem. A poeira é armazenada nos silos debaixo do ciclone.



Figura 32. Secador de Tambor Rotativo Comessa.

Fonte: Elaboração própria (2024)

3.5.4. Embalagem e expedição

O armazém recebe o açúcar após retiradas todas as possíveis partículas que atentem contra a segurança e saúde alimentar. Nesta secção dá-se a finalidade ao açúcar. Mas

⁹ A preparação do magma é feita por meio do açúcar B— grãos médios que são dissolvidos com água.

antes do açúcar ser empacotado para vendas, aplica-se a Vitamina A¹⁰, por questões das políticas de saúde e segurança alimentar, visto que a companhia abraçou o desafio do governo, que visa a vitaminação de produtos manufaturados no território nacional.

3.5.4.1. Doseador de vitamina A

O doseador é um dispositivo que serve para dosear, com Vitamina A, o açúcar que circula no território nacional. Visto que a medida do doseamento do açúcar nacional tem o propósito de reduzir substancialmente a desnutrição crónica, sobretudo em crianças com menos cinco anos, como consta do quadro do programa de fortificação de alimentos, promovido pelo MIC que abrange todas as indústrias alimentares de produtos mais consumidos (Portal do Governo, 2017).

O açúcar ao sair do secador passa do doseador e em seguida aos silos e armazenado no caso do açúcar para comércio interno. Em seguida, a máquina de enchimento é acionada, para empacotar ou encher 50 kg e depois pesado para a verificação do peso líquido com finalidade de certificação da qualidade e quantidade pelas normas de direitos aos consumidores propostas pela INNOQ. Para o caso de açúcar que se destina ao mercado internacional, não passa do doseador. Isola-se a linha para o enchimento só de 1 t. No processo do empacotamento, ensacamento e enchimento, pode se dar ao caso de haver perdas de açúcar, alguma parte deste por ser pisada ou se misturar com impurezas.



Figura 33. Placa de lançamento de fortificação de açúcar, doseador de vitamina A, máquina de empacotamento e embalagens do açúcar

Fonte: Elaboração própria (2024)

Este açúcar não será apto ao empacotamento e ensacamento, este chama-se açúcar rejeitado como “da varredura” que não se joga fora, é colectada, armazenada e conservada, para posterior refundição produzindo assim o *Remelt 2*. Esta varredura é

¹⁰ Açúcar, que deve conter Vitamina A, numa proporção mínima de 1mg por 100g e máxima de 3mg por 100g (Decreto n.º 9/2016, BR I serie Número 46).

tirada do interior do armazém para o lado adjacente do armazém onde se encontra o refundidor 2, dissolve-se e observando todas aquelas condições de controlo de variáveis mencionadas na refundição 1 e passa por filtração para a retirada de impurezas. Refundida a “varredura”, é bombeada ao tanque do xarope na secção das painelas para assim fazer-se um novo açúcar. Todo o açúcar após o empacotamento é conferido e confrontado com o valor lido pela balança do secador.

3.6. Problema industrial identificado no processo de produção da empresa

Tanto na secção de evaporação como na cristalização são usados os condensadores barométricos que consomem uma gama quantidade de água proveniente da captação do rio pelas bombas.

Baseando-se na informação obtida na empresa e sobretudo pelas observações feitas durante o estágio, cerca de 40% da água bombeada é usada nos condensadores barométricos. Acarretando grandes custos à empresa. Também se notou que a água proveniente das colunas barométricas é o principal factor no incremento da temperatura e concentração de substâncias contagiosas nas águas residuais nos efluentes da empresa o que constitui um sério problema ao meio ambiente, podendo afectar a comunidade circunvizinha que sobrevive de pesca e agricultura deste rio. Pois, o mesmo serve de descarga dos efluentes.

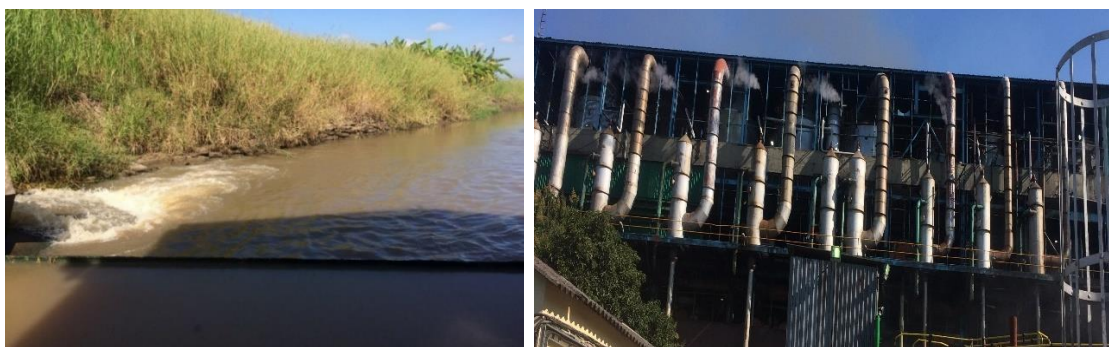


Figura 34. Descarga de águas residuais provenientes dos processos e os condensadores barométricos

Fonte: Elaboração própria (2024)

Outro problema que a empresa enfrenta, é a dificuldade na quantificação da água captada e os efluentes provenientes dos processos industriais, por isso é um desafio estimar a quantidade consumida nos condensadores barométricos devido à falta de equipamentos para a medição dos seus fluxos.

3.7. Actividades desenvolvidas durante o estágio

Durante o estágio, foram desenvolvidas actividades de rotina no Departamento Fabril nas áreas dos laboratórios e na área de processo. A área de processo foi o último sector onde o estágio foi desenvolvido e constituiu a área que foi desenvolvida a maior parte de actividades do estágio. De referir que, a campanha teve o seu início aos 15 de maio, visto que antes da campanha este departamento encontrava-se no trabalho de manutenção. Assim, o estagiário realizou e participou em diversas actividades durante o estágio, com destaque para as seguintes:

Semana 1 e 2: Compreendendo o período de 6/02/2023 à 17/02/2023

Apresentação da empresa e realização de indução sobretudo *Overview* da empresa e a matéria relacionada com HSST. Apresentação ao departamento de fábrica, onde foram realizadas actividades no laboratório de ETA. Trabalho de rotina no laboratório de ETA: como a extracção e preparação da amostra periodicamente e realização da leitura de caudais e das análises dos parâmetros pH, turbidez, sólidos suspensos totais (SST) das águas bruta, potável, dos clarificadores (decantadores) e dos filtros.

Semanas 3-10: Compreendendo o período de 20/02/2023 à 28/04/2023

Apresentação a planta fabril, visão geral de cada subdivisão do departamento fabril: mesa de alimentação, moinhos, processos e armazém. Realização de actividades de rotina como a manutenção e colheita de dados; visita às 4 secções na repartição de processos em média por uma semana. Como também em especial fez-se o levantamento de dados e cálculo de área de TC nos aquecedores, reauecedores, evaporadores e painéis.

Semanas 11-17: Compreendendo o período de 01/05/2023 à 03/06/2023

Actividades de rotina que consistia na operação nos processos da fábrica desde os moinhos até a secção de secagem. Em destaque, nas secções de evaporadores e cozedores. A identificação de problemas e revisão bibliográfica para obter mais subsídios dos temas propostos para a pesquisa. Levantamento de dados para prosseguir com a pesquisa para o dimensionamento de torre de resfriamento.

CAPÍTULO IV

4 Materiais e métodos

O fluxograma apresentado na figura abaixo mostra as etapas da parte prática que foram desenvolvidas no presente relatório realizado na indústria açucareira em estudo.

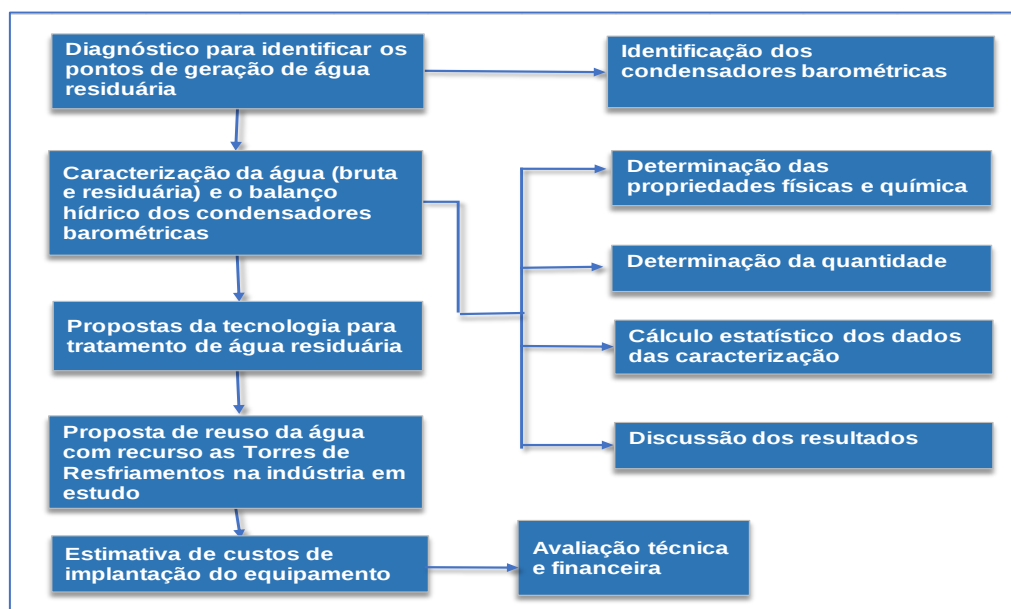


Figura 35. Metodologia utilizada para realização da parte prática do trabalho

Fonte: Elaboração própria (2024)

4.1. Parte experimental

Foram feitas recolhas das amostras nos frascos plásticos de 500 ml em cada jusante das colunas barométricas, da jusante geral dos efluentes da fábrica e da fonte de captação da água para determinar as propriedades química-física, exceptuando a amostra para determinar a temperatura, as restantes as amostras são refrigeradas à 25 °C.

Essas análises laboratoriais foram realizadas no laboratório de Estação de Tratamento de Águas (ETA) de departamento de processo da direção fabril.

4.1.1. Materiais e equipamentos

Reagentes: HCl 0.02 N, AgNO₃ 0.025 N, Buffers (pH 4, pH 7 e pH 10), água destilada e indicadores (de alcalinidade, de cromato de potássio e de fenolftaleína).

Equipamentos: Termómetro (modelo HI 9040 *microcomputador thermometer*), *Photometer System* (modelo DR 900 HACH), Potenciómetro (Modelo CRISON GLP 21 PH), pinça metálica e frascos plásticos de 500 ml, copo de Becker 100 e 250 ml, tubo de ensaio graduado, Erlenmeyer e funil, pipeta, bureta e suporte de bureta.

4.1.2. Procedimentos experimentais

4.1.2.1. Determinação da temperatura

Para determinação da temperatura, faz-se as análises *in loco*, observando os seguintes procedimentos experimentais:

1. Extrair a água da fonte por meio duma pinça metálica num frasco de amostra;
2. Ligar o instrumento Termómetro (modelo HI 9040 *microcomputador thermometer*) com auxílio do botão ON/OFF;
3. Mergulhar o eléctrodo na amostra por 30 segundos e fazer a leitura da temperatura;
4. Registar a temperatura da água.

4.1.2.2. Determinação do nível de pH

A determinação do pH da água consiste no uso de medidor de pH (Modelo CRISON GLP 21 PH), usando os procedimentos descrito por do Rosário (2015).

4.1.2.3. Determinação de Alcalinidade Total e de Cloretos

Para determinar a alcalinidade total e de cloretos, usou-se a titulometria volumétrica, método analítico clássico baseado na medição do volume ou quantidade de um reagente de concentração exatamente conhecida que é necessária para reagir completamente com o analito (Skoog, et al., 2009). Usou-se o procedimento descrito no manual¹¹ da Titan Group (2016).

4.1.2.4. Determinação da Turbidez e SST

Para a determinação da Turbidez e SST, usou-se o equipamento *Photometer System* (modelo DR 900 HACH). Segundo os seguintes procedimentos:

1. Introduzir a amostra de água destilada de modo a ter uma amostra padrão;
2. Clicar em OPTION e seleccionar em SST e em seguida RESTART;
3. Encher-se num frasco limpo de amostra de água em análise e introduzir no *Photometer System*;
4. Clicar em READ e aguardar por alguns segundos até que se estabilizar;
5. Fazer a leitura do valor de SST;
6. Repetir os passos 1 a 5 para determinar Turbidez;
7. Registar os valores encontrados.

¹¹ Procedimentos experimentais encontram-se no Apêndice 2.1.

4.2. Determinação da quantidade da água

Quase todos os processos na fábrica se usa água. Porém, não foi possível realizar a quantificação do volume gerado em cada secção, visto que a empresa não possui medidores de vazão em todos os locais de entrada de água e saída de efluente. Apenas a ETA possui os medidores de água bruta e tratada.

Na empresa, existe um conjunto de secções envolvido nos processos produtivos no departamento fabril, com o intuito de proporcionar eficiência na tomada de decisões para uma imediata resposta e identificação dos responsáveis pelo procedimento. As secções identificadas que utilizam água são: moinhos, processos, caldeira, central eléctrica, estações de tratamento de água de consumo e de caldeira. A **figura 36** mostra os sectores produtivos que geram águas residuais.

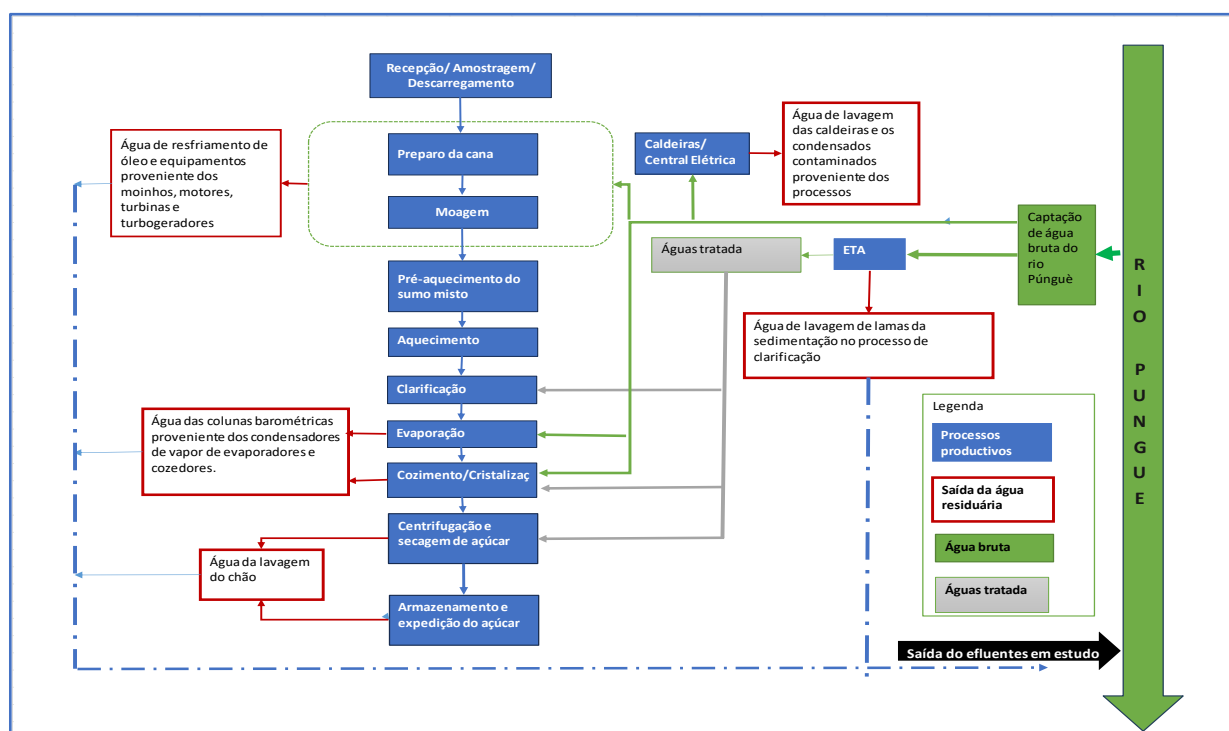


Figura 36. Cenário actual do consumo de água e geração de efluentes residuais

Fonte: Elaboração própria (2024)

Para determinação da quantidade de água utilizada nos condensadores barométricos usou-se os cálculos matemáticos por meio de dados obtidos no processo fabril em seguida fez-se o balanço, permitindo a quantificação da água bruta usada conforme descrito no capítulo 5.

Do Apêndice 3.2 estima-se uma capacidade máxima de processamento um consumo de 2000 m³/h de água fria correspondente nos nove condensadores dos quais um

condensador para os evaporadores dos dois grupos (A e B) e os restantes oito condensadores destinados aos oito cozedores de tamanhos diferentes onde os seus caudais de água fria bruta dependem das taxas de evaporação de cada equipamento que se determina usando a equação (9) de balanços mássico e energético no condensador barométrico.

4.3. Dimensionamento da torre de resfriamento

Fez-se cerca de 10 requisições em diferentes empresas e no final seleccionou-se as três cotações das quais oferecem melhores preços conforme as necessidades do projecto e também boa assistência técnica na instalação do equipamento que foi um dos critérios.

4.3.1. Dados e ferramentas usados para o dimensionamento

A **tabela A3.4** (Apêndices) mostra os dados cruciais usados na requisição e no correcto dimensionamento da torre de resfriamento que são encaminhados para os fabricantes de torres de resfriamento para seleção do melhor equipamento para cada situação. Dentre eles são: localização geográfica para aplicação da temperatura de bolbo húmido para um correcto dimensionamento; qualidade da água que será utilizada: sais, sólidos em suspensão e pH são os itens mais importantes para definição do tipo de enchimento (recheio); vazão de água circulante; temperatura de entrada de água na torre (água quente) vinda do processo; temperatura de saída de água da torre (água fria) retorno ao processo.

4.3.2. Determinação dos custos da implantação da torre de resfriamento

Um dado importante a ser considerado na compra de uma torre de resfriamento é o seu custo. Com isso, o custo total da torre em custo de investimento inicial e custos fixos operacionais devem ser bem avaliados de modo a compensar com o investimento.

- **O custo de investimento inicial** inclui custo total da TR, custo dos motores e bombas, custo da bacia de coleta de água fria; custo do sistema eléctrico instalado, custo do sistema hidráulico instalado, custo operacional de instalação do projecto.
- **O custo fixo operacional** se tem custo da energia eléctrica para os ventiladores e bombas, custo de manutenção, custo de tratamento da água, custos operacionais (operadores da torre de resfriamento).

CAPÍTULO V

5 Resultados e discussão

5.1. Avaliação dos resultados dos parâmetros de qualidade da água

A **Tabela 6** apresenta os resultados obtidos das características físicas e químicas da água nos pontos específicos: nas colunas barométricas, na descarga de efluentes residuais e na fonte de captação da água bruta.

Tabela 6. Valores médios e desvios padrão dos parâmetros físico-químicos das águas

Parâmetro	Colunas barométricas		Efluentes residuais		Fonte de captação	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Temperatura (°C)	51	± 10	43,3	± 1,4	26,6	± 1,4
pH	6,8	± 0,4	6,3	± 1,1	ND	ND
Turbidez (uT)	76,9	± 16,2	71	± 21,1	ND	ND
Sólidos suspensos totais(mg/L)	65,7	± 16,1	63,7	± 20,6	ND	ND
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /L)	73,3	± 17,3	69,5	± 16,5	ND	ND
Cloretos (mg/L)	25,2	± 3,1	26,4	± 7,8	ND	ND
DQO (mg/L) ¹²	ND ¹³	ND	78,2	± 75,7	ND	ND

Fonte: Elaboração própria (2024)

Conforme evidenciado pelo **gráfico 2**, as temperaturas dos efluentes residuais excedem os limites estabelecidos pela legislação. Dessa forma, constata-se que a empresa realiza o lançamento dos efluentes líquidos à temperatura excessivamente elevada. Tal prática, contribui para uma significativa variação térmica no rio, com uma diferença de 10 °C entre as temperaturas do efluente e do meio receptor.

Esse elevado aumento deve-se à água proveniente das colunas barométricas. Assim, verifica-se a necessidade de adoção de medidas com vista a redução da temperatura de modo que não cause impactos ambientais negativos.

¹² Dados obtidos dos registos de junho de 2022 no laboratório da Estação de Tratamento de águas.

¹³ ND (Não disponível)

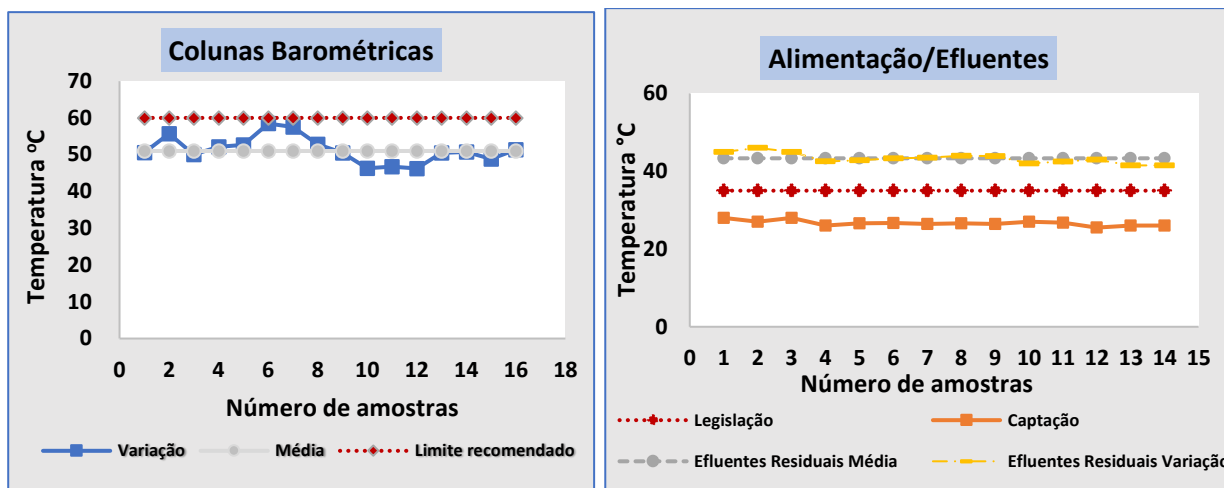


Gráfico 2. Variação das temperaturas nas águas das colunas barométricas, alimentação e efluentes residuais

Fonte: Elaboração própria (2024)

Conforme o **gráfico 3**, os níveis de pH e alcalinidade total nas colunas barométricas estão dentro dos limites para a emissão do efluente no receptor sem necessidade do tratamento. A alcalinidade está relacionada com a presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos tendo como consequência o aumento de pH. Isso aumenta a tendência da formação de incrustações nos tubos como também pode gerar gases carbônicos quando submetidos a altas temperaturas, tornando-se dessa forma altamente corrosiva aos equipamentos metálicos.

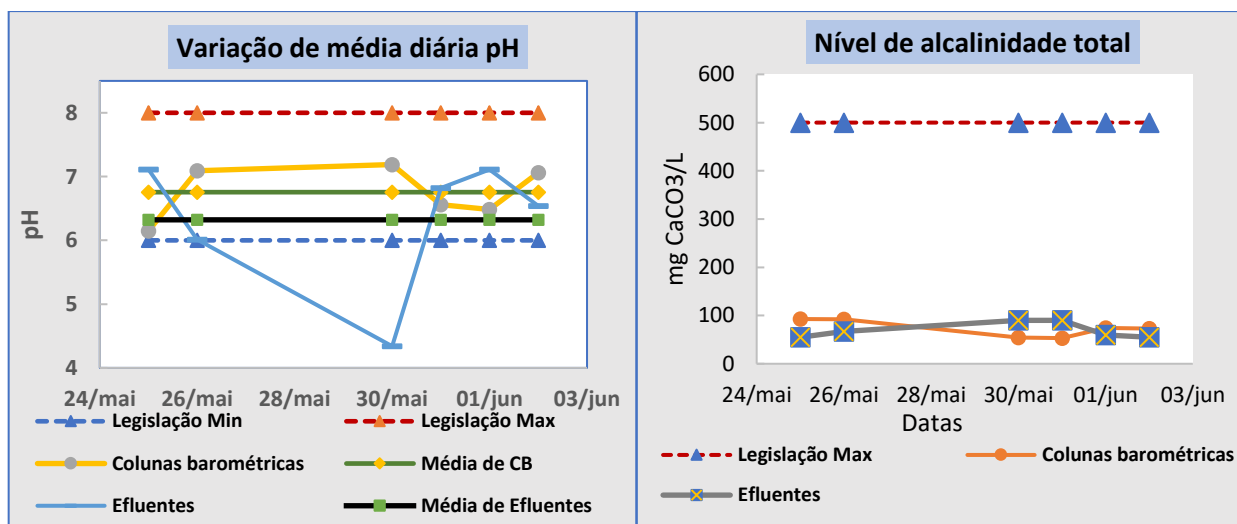


Gráfico 3. Variação dos níveis de pH e alcalinidade nas colunas barométricas e nos efluentes

Fonte: Elaboração própria (2024)

E o nível de cloretos (26.3 mg/L) das águas descartadas ao ambiente é considerável, em comparação ao nível máximo tolerável pela legislação (100 mg/L). Embora a análise

desse parâmetro não seja crucial na indústria açucareira, a sua relevância reside na notável influência desses sais no processo de corrosão, devido ao facto deste sal ser um electrólito forte. Este resultado deve-se ao emprego do cloro na ETA.

O nível de SST nas águas dos efluentes excede os padrões estabelecidos pela legislação, demandando correção por meio da sedimentação desse efluente. A sua emissão ao meio ambiente sem devido tratamento incorre danos ambientais por isso deve ser corrigido por meio sedimentação desse efluente.

O **gráfico 4** ilustra a variação de turbidez que desempenha um papel crucial na avaliação do crescimento microbiológico, detecção de contaminações externas e monitoramento de concentrações excessivas de sais. A Inobservância desse parâmetro pode resultar na proliferação de microrganismos e por consequência o sequestro de oxigénio na água. Causando a morte da biodiversidade local.

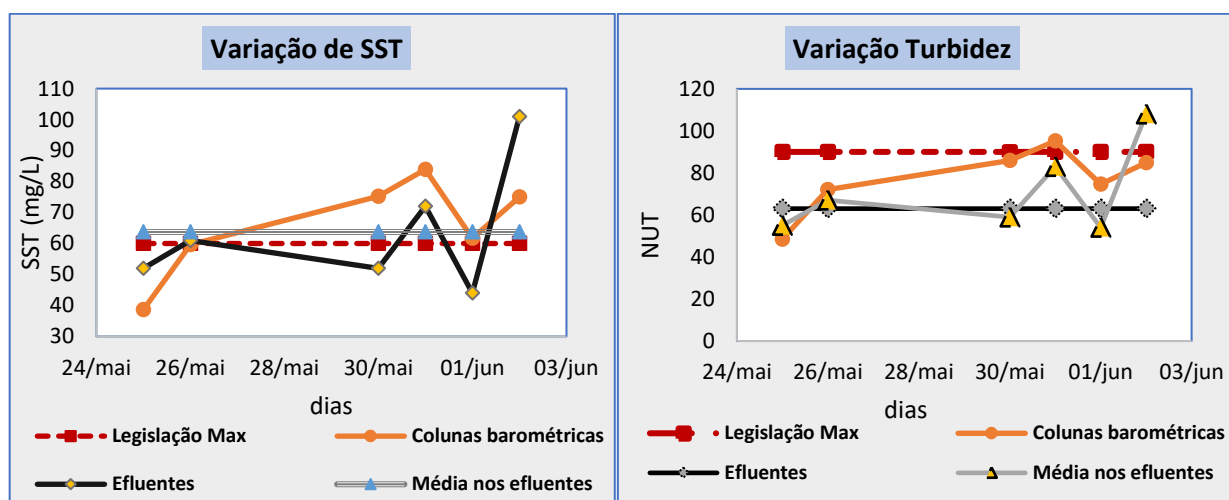


Gráfico 4. Variação dos níveis de SST e turbidez nas colunas barométricas e nos efluentes e suas respectivas médias.

Fonte: Elaboração própria (2024)

De maneira geral, os parâmetros de qualidade de água avaliados mostraram que a água das colunas barométricas (oriundas dos evaporadores e cozedores) tanto como as águas de efluentes estão dentro de parâmetros recomendados pela legislação. Com a excepção da temperatura e SST da água dos efluentes residuais que estão acima dos limites impostos pela legislação. Com isso, vê-se a importância da avaliação da qualidade da água dos efluentes antes do seu lançamento ao rio para mitigar os danos ambientais. Esta avaliação contínua permitirá possível reaproveitamento dessa água, garantindo assim que haja sustentabilidade ambiental após o seu lançamento ao meio receptor, o rio Púnguè.

5.2. Determinação da quantidade da água fria das colunas barométrica

Nas condições normais de operação dos condensadores barométricos, estima-se o valor de 6,73 m³/TC de água fria usada, adicionando a taxa da água de refrigeração dos equipamentos perfaz um valor de 11,23 m³/TC.

Este resultado corrobora com os estudos feitos por Pimentel, et al. (2004) que obteve uma taxa de 12 m³/TC. Deste modo, os condensadores demandam um total de água de 1.347,26 m³/h, tomando-se como referência o valor de 1.350 m³/h na condição actual de processamento das moendas em 120 TCH. Este valor implica elevado custo à empresa pela captação da água. Além disso, gera enorme quantidade de efluente com matéria orgânica e temperatura elevada.

5.3. Proposta da solução

Com os dados obtidos na secção anterior propõe-se a instalação de sistema de tratamento dos efluentes para conferir a qualidade desejada do efluente para se fazer o seu reuso devidamente, dado que o elevado aumento da temperatura se deve a água proveniente das colunas barométricas. Para se ter um bom rendimento no uso da água, propõe-se o reuso da água após passar pelo tratamento térmico, isto é, o uso de torres de resfriamento.

Tabela 7. Dados de dimensionamento das torres de resfriamento

Dados	Símbolo	Unidade	Valor
Temperatura de bolbo húmido	t_w	°C	23
Temperatura de entrada de água na torre	$t_{\text{água-ent}}$	°C	55
Temperatura de saída de água da torre	$t_{\text{água-sai}}$	°C	30
Approach	-	°C	25
Range	-	°C	7
Vazão de água circulante	$Q_{\text{água}}$	m ³ /h	1350
Capacidade calorífica da água	C_{pw}	cal/kg °C	1000
Eficiência térmica	η	-	0,28
Carga térmica (1350 m ³ /h)	$Q(1350)$	kcal/h	33.750.000
Perda pela Evaporação (1350 m ³ /h)	$R(1350)$	m ³ /h	5,16

Fonte: Elaboração própria (2024)

Desta forma deve se obter um conjunto de torres de resfriamento com capacidade de carga térmica de 33.750.000,00 kcal/h, para uma recirculação de 1.350 m³/h de água nas condições actuais de operação com 120 TCH.

5.4. Avaliação técnica e financeira na implementação do projecto

5.4.1. Avaliação dos custos da implantação da torre de resfriamento

O projecto é avaliado em USD 260.000,00 (17.000.000,00 MZN), cobrindo todos os custos conforme apresentado no Apêndice 4.3 que compõem os custos de aquisição das torres de resfriamento, das bombas de água, dos tubos de instalação, da instalação de equipamentos eléctricos e da construção civil.

Deste modo os custos obtidos ao funcionamento actual pela captação de 1.350 m³/h para alimentação de condensadores barométricos resulta em 1.300.000,00 MZN pagos às entidades fiscais anualmente no período de campanha e o respectivo custo de energia eléctrica para o funcionamento das bombas eléctricas, entretanto, este valor poderá amortizar o investimento do projecto de torres de resfriamento em 12 anos (isto é, payback do projecto, dado pela divisão do investimento inicial por entradas médias de fluxo de caixa), tendo os custos como os fluxos de caixa.

5.4.2. Avaliação técnica da implantação da torre de resfriamento

Com a implantação duma torre de resfriamento, existe um potencial na redução do consumo de água captada, considerando uma perda de água pela evaporação numa vazão média de 5,16 m³/h durante o resfriamento, o que representa apenas 0,38% do volume antes da implantação que é cerca de 17.000 m³ ao ano face aos 4.500.000 m³ captado actualmente em cada campanha (anual).

Portanto, a redução da necessidade de captação da água do rio para o uso nos condensadores barométricos, proporciona a diminuição de geração de efluente proveniente desses equipamentos.

Constituindo, portanto, uma estratégia eficaz para a conservação desse recurso natural, nos seus aspectos qualitativos e quantitativos. Observando não só a sustentabilidade ambiental, mas também social, pois permitirá a execução das actividades agrícolas e pesqueiras ao longo do rio Púnguè pela comunidade e circunvizinha.

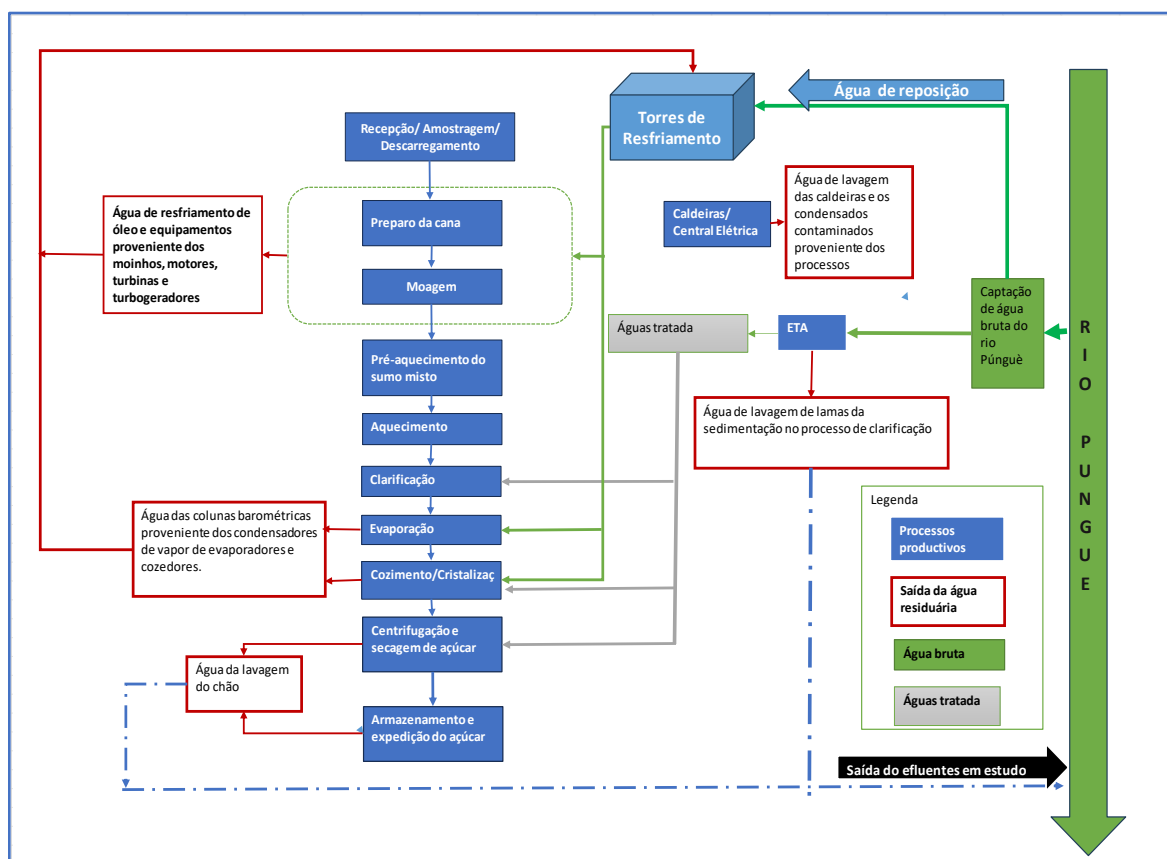


Figura 37. Cenário proposto do consumo de água e geração de efluentes residuais

Fonte: Elaboração própria (2024)

Para além disso, também garante a redução do consumo de energia elétrica para acionamento das bombas de captação na ordem de 1000 kW para 165 kW do novo sistema. Esta é uma poupança energética considerável, pois, reduziria os custos de energia elétrica. Garantindo dessa forma a racionalização do uso da energia eléctrica na empresa. Podendo neste caso aplicar-se noutros sectores que necessitam da energia eléctrica.

CAPÍTULO VI

6 Conclusões, limitações e recomendações

6.1. Conclusões

O estudo realizado que visa avaliar a sustentabilidade do reuso da água proveniente de condensadores barométricos, possibilitou a identificação de potenciais estratégias para a redução dos custos associados à captação de água e para a mitigação dos impactos ambientais.

A caracterização qualitativa dos efluentes residuais revelou que a água proveniente das colunas barométricas contribui para o aumento da temperatura nos efluentes líquidos, excedendo os limites estabelecidos pelas entidades reguladoras, apresentando-se como uma preocupação ambiental significativa. Os restantes parâmetros exceptuando SST, encontram-se dentro dos padrões legais.

Também, foi possível determinar a actual demanda do uso de água dos condensadores barométricos e dos sistemas de resfriamento dos equipamentos mecânicos. Entretanto, estima-se uma vazão de 1.350 m³/h que pode ser reduzida consideravelmente até 0,38%, se houver um tratamento que possa conferir a qualidade necessária para o reuso no processo usando torres de resfriamentos. Isso proporciona a diminuição de geração de efluente além de redução dos custos pela captação da água.

A implantação da torre de resfriamento estima-se em cerca de 17.000.000,00 MZN. Sendo este investimento do projecto amortizáveis em 12 anos considerando os 1.300.000,00 MZN pagos anualmente às entidades fiscais e adicionalmente ao custo de energia eléctrica durante a campanha pela captação de 1.350 m³/h de água para alimentar os condensadores barométricos. Contudo, esse projecto garantiria adicionalmente a redução do consumo de energia para accionamento das bombas de captação na ordem de 1.000 kW para 165 kW.

6.2. Limitações

Durante o desenvolvimento do projecto verificaram-se como limitações a falta de obtenção de dados de caudais volumétricos nos canais de captação e descargas de efluentes da empresa, o que constituiu um desafio para fazer-se o balanço hídrico na empresa e também a dificuldade de se fazer a caracterização qualitativa das águas

residuais, visto que no momento da pesquisa não existiam os reagentes para analisar o teor de açúcar, BQO e BDQ da água dos efluentes.

6.3. Recomendações

Como recomendação à empresa, sugere-se a realização dum estudo no levantamento qualitativo e quantitativo dos efluentes mais exaustivo. Isso possibilitará obter dados abrangentes permitindo, assim a identificação de áreas cruciais de melhoramento dos processos productivos das indústrias açucareiras. Além disso, é recomendável estudar o dimensionamento de medidores e totalizadores de fluxo de sumo claro e xarope nos evaporadores e nas panelas. Adicionalmente, realizar a instalação de instrumento de medição de caudal da água das colunas barométricas tanto como na captação da água bruta e águas residuais produzidas pela empresa, o que permitirá a realização do balanço material nos corpos, viabilizando a quantificação do uso da água nesses equipamentos de alto consumo para a implementação de medidas de uso racional dos recursos. Por último, é recomendável conduzir um estudo para avaliar cuidadosamente a frequência de recirculação da água resfriada, de modo a não comprometer o funcionamento da tubagem e da torre de resfriamento após a sua instalação.

Também se recomenda às instituições de ensino que se estude exaustivamente esta temática, aprimorando com ensaios laboratoriais nos trabalhos de pesquisas curriculares das aulas de transferência de calor, de termotécnica e das disciplinas afins, construindo um equipamento laboratorial (duma torre de resfriamento) para melhor embasamento técnico-científico nos estudantes. Incentivando, assim às empresas industriais para a adopção desta prática de reutilização de água nos seus processos industriais que demandam quantidade de água considerável.

BIBLIOGRAFIA

Referências bibliográficas

1. Almeida, J. C. d., 2009. A Indústria Sucroalcooleira-energética e os Recursos Hídricos: Rio Santo Antônio Grande, Alagoas. *Dissertação de mestrado*.
2. ANA, 2009. *Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética*. Brasília: Federação das Indústrias do estado de São Paulo.
3. Bianchini, V. K. & Assumpção, M. R., 2002. A diferenciação de produtos na cadeia produtiva do açúcar: o processo de produção dos açúcares líquido e líquido invertido. *XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 23 a 25 outubro.
4. BdM, 2022. Desafios e Oportunidades da Indústria Açucareira em Moçambique: O Caso da Província de Sofala. *Caderno das intervenções e debates no 47.º Conselho Consultivo do Banco*, novembro.
5. BR, 2004. Regulamento sobre Padrões de Qualidade. Em: *Boletim da República*. Maputo: Conselho de Ministros.
6. Brum, L. d. S., 2015. *Avaliação Operacional de Torres de Resfriamento: Um estudo de Caso em Uma Torre do RS*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande Sul.
7. Castro, H. F. d., 2013. *Indústria Açucareira*. São Paulo: Escola de Engenharia Lourenço-EEL.
8. Curumba, J. C., 2016. Determinação da influência da instalação do tanque de condicionamento de melaço "B" e do tanque de preparação de semente no cozimento da Estação "C". junho.
9. da Silva, A. F., 2015. Otimização de Torres de Resfriamento. *Dissertação de Mestrado*.
10. Delgado, A. A. & Cesar, M. A. A., 1977. *Elementos de tecnologia e engenharia do Açúcar de Cana*. Piracicaba: Universidade de São Paulo.
11. do Rosário, A., 2015. *Estudo das possibilidades de reaproveitamento de águas residuais na fábrica de*. Maputo: UEM.
12. European Environment Agency, 2018. *Sinais da EEA 2022 - Manter o rumo em prol de uma Europa sustentável*. [Online] Available at: <https://www.eea.europa.eu/pt/sinais-da-eea/sinais-2018/artigos/alteracoes-climaticas-e-agua-2014-1> [Acedido em 2024 maio 6].

13. FAO, 2023. *FAOSTAT*. [Online] Available at: <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL/visualize>
14. Ferreira, A. K., 2012. *Torre de Resfriamento Didática.*, Medianeira: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
15. FEUEM, 2009. *Regulamento de Culminação de Estudos nos Cursos de Engenharia*. Maputo: UEM.
16. Gerhardt, T. E. & Silveira, D. T., 2009. *Métodos de pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
17. Germani, R., 2021. *Glicose de Milho*. [Online] Available at: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pos-producao/agroindustria-do-milho/processamento/produtos-intermediarios/glicose-de-milho> [Acedido em 01 07 2023].
18. Gil, A. C., 2002. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo, s.n.
19. Gode, C. J., 1997. *Indústria Açucareira em Moçambique: Produção versus Importação do Açúcar*, Maputo: s.n.
20. Hugot, E., 1969. *La Sucrierie de Cannes*. Dunod(Paris): Mestre Jou.
21. Ideia Sustentável, s.d. *O que é sustentabilidade empresarial? Entenda como surgiu esse conceito e como ele evoluiu ao longo do tempo*. [Online] Available at: <https://ideiasustentavel.com.br/o-que-e-sustentabilidade/#:~:text=Entenda%20como%20surgiu%20esse%20conceito%20e%20como%20ele,ESG%20...%203%20Agenda%202030%20e%20ODS%20> [Acedido em 5 5 2024].
22. IMPRENSA NACIONAL DE MOÇAMBIQUE, E.P., 2016. *Regulamento de Fortificação de Alimentos com Micronutrientes Industrialmente Processados*. s.l., s.n., pp. 237-241.
23. Leone, A. A. M., 2018. *Proposição de reuso da água residuária de uma usina. Dissertação (mestrado)*.
24. Lopes, K. D. C. P., 1999. *Origem e Evolução Da Contabilidade*. pp. 27-28.
25. Martins, E. S., Rossetto, C. R., Rossetto, A. M. & Ferreira, E., 2010. Estudo da sustentabilidade empresarial: O CASO DE UMA COOPERATIVA GAÚCHA. *Revista electrónica de gestão organizacional*, pp. 458-482.
26. Mello, M. F. d. & Mello, A. Z. d., 2018. Análise prática de responsabilidade social. *Gestão e produção*, 25(1), pp. 81-93.

27. Mendes, G. P., Gomes, I. M. & Marques, R. F. d. P. V., 2020. Industrial interference in climate change and its economic impact on water use. *Internacional Journal of Environmental Resilience Research and Science (IJERRS)*, novembro, pp. 133-143.
28. Meteoblue, 2023. *Meteoblue*. [Online] Available at: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/beira_mo%c3%a7ambique_1052373
29. Miguel, A. A., Paschoalato, C. F. P. R. & de Novaes, L. F., 2020. Proposição de reuso da água residuária de uma usina sucroalcooleira situada no interior de São Paulo. *REVISTA AIDIS*.
30. Moran, M. J. & Shapiro, H. N., 2006. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. Inglaterra: British Library.
31. O Económico, 2023. *ESG Talks: Financiamento Verde e Boas Práticas Sustentáveis abrem novas perspectivas à economia moçambicana*. Maputo, O Económico.
32. O’Laughlin, B. & Ibraimo, Y., 2013. A Expansão da Produção de Açúcar e o Bem-Estar dos Trabalhadores Agrícolas e Comunidades Rurais em Xinavane e Magude. *Cadernos IESE N.º 12P*.
33. ONU, 2015. *Nações Unidas*. [Online] Available at: <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/> [Acedido em 5 Maio 2024].
34. Paulino, F. F., 2017. *A história do açúcar*. [Online] Available at: <https://ensina.rtp.pt/artigo/a-historia-do-acucar/>
35. Pereira, M. R., 2010. *Reaproveitamento de água em uma Indústria Sucroalcooleira*. Maringá, Brasil: Universidade Estadual de Maringá.
36. Pimentel, I. M. C. et al., 2004. Avaliação e reuso de água de colunas barométricas na Indústria Sucro-Alcooleira – um comparativo entre duas usinas.. *XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*.
37. Portal do Governo, 2017. Fábricas passam a fortificar açúcar moçambicano. *Imprensa*.
38. Rein, P., 2007. *Cane Sugar Engineering*. Berlin: s.n.
39. Ribeir, C. A. F., Blumer, S. A. G. & Horii, J., 1999. *Fundamentos de tecnologia sucroalcooleira(1ªparte): Tecnologia do Açúcar*. Piracicaba: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
40. Romero, J. L. C., 2006. Diseño y construcción de un condensador barométrico de chorro para el laboratorio de Operaciones unitarias. *TCC*.

41. Sampaio, F. S., 2013. *Torre de resfriamento: modelagem, simulação e testes experimentais para apoio ao ensino de engenharia mecânica*. Brasília: UnB.
42. Shreve, R. N. & Brink Jr., J. A., 1997. *Indústrias de Processos Químicos*. s.l., s.n.
43. Skoog, D. A., West, D. M. & Holler, F. J., 2009. *Fundamentos de Química Analítica*. 8 ed. Sao Paulo: Cengage Learning.
44. SPX Cooling Technologies, Inc., 2009. *Cooling Tower Fundamentals*. 2 ed. EUA: John C. Hensley.
45. Tongaat Hulett, 2023. *Tongaathulett*. [Online] Available at: <https://www.tongaathulett.com/overview/profile/>
46. Torquato Jr., H. et al., 2004. Demanda de água nos processos Industriais de açúcar e álcool. *XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*.

Outras referências consultas

47. BR, 2006. Decreto n.º 20/2016, Regulamento de Fixação de Taxas de Água Bruta, em cada Área de Jurisdição das Administrações Regionais de Água. Maputo: s.n.
48. BR, 2017. Postura de Saneamento e Drenagem. *III SÉRIE — Número 128*, 16 agosto.
49. EDM, 2024. (Online) Available at: <https://www.edm.co.mz/pt/website/page/tarif%C3%A1rio-de-energia-el%C3%A9ctrica>
50. INAM, 2023. [Online] Available at: <https://www.inam.gov.mz/index.php/pt/component/edocman/?task=document.viewdoc&id=14&Itemid=>
51. Meteoblue, 2023. *Meteoblue*. [Online] Available at: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/beira_mo%C3%A7ambique_1052373
52. NormasABNT.Org, 2022. *Normas da ABNT*. [Online] Available at: https://www.normasabnt.org/formatacao-abstract/#google_vignette [Acedido 11/23].
53. Raymundo, R. T., 2022. *Formatação se secção no TCC: esclareça suas dúvidas*. [Online] Available at: <https://viacarreira.com/formatacao-de-secao-no-tcc/> [Acedido em 28 junho 2023]
54. Rodrigues, G. P., 2019. A química do açúcar: Aprendizagem com conscientização
55. Titan Group, 2016. *Procedimentos de análises Químicas*. Maputo: s.n.

GLOSSÁRIO

Termo	Definição
Açúcar	Sólido cristalino, orgânico, constituído por cristais da sacarose envolvidos, ou não, por películas de mel de alta ou baixa pureza.
Sociedade Anónima	Refere-se a forma jurídica de constituição de empresas na qual o capital social não se encontra atribuído a um nome específico, mas está dividido em ações que podem ser transacionadas livremente.
Brix	É a % mássica dos sólidos solúveis numa solução de sacarose pura.
Vapor escape	É o vapor proveniente das caldeiras e das centrais elétricas.
Caldo	Refere-se ao líquido extraído da cana-de-açúcar através dos moinhos.
High-Fructose Corn Syrup	Designado por xarope de milho de alta frutose (HFCS), por vezes também conhecido como isoglicose, um açúcar obtido através de um processo químico a partir do amido de milho, é frequentemente misturado com xarope de milho ou xarope de glucose.
Fotossíntese	é um processo usado por plantas e outros organismos para converter energia luminosa em energia química e parte dessa energia química é armazenada em moléculas de carboidratos, como açúcares e amidos, que são sintetizados a partir do dióxido de carbono e da água.
Remelts	Solução diluída proveniente da refundição de açúcar C, de todo açúcar rejeitado e do pó recuperado de secador feita nos fornos de refundição 1 e 2 em seguida misturado com sumo clarificado obtendo-se uma solução igual do xarope, com <i>Brix</i> entre 63% a 68%.
Slurry	Misturado de açúcar branco e metanol (80%), preparado por moinho de bolas durante 12 h e depois de moído é lavado com 2 L de metanol.
Moinhos	São equipamentos usados na extracção do sumo em função da pressão exercida sobre a cana desfibrada através de rolos e são constituídos por quatro (4) rolos (alimentador, de entrada, e de saída que giram no mesmo sentido e o quarto o superior gira ao contrário).
Semente da gramagem	Suspensão em álcool de partículas de açúcar moído, utilizada para granagem.
Grão falso	Partículas formadas por uma aglomeração indevida de cristais.
Sumo sulfitado	Caldo que contém certa quantidade de anidrido sulfuroso integrado ao caldo misto, após passar por uma coluna de sulfitação.
Sumo caleado	Caldo que contém adição de hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 .

APÊNDICES

Apêndice I. Experiências laboratoriais, tratamentos de dados e resultados

Apêndice 1.1. Materiais/equipamentos experimentais e procedimentos

Figura A2. 1. Termômetro (modelo HI 9040 *microcomputador thermometer*).



Fonte: Elaboração própria (2023)

Figura A2.2. *Photometer System* (modelo HI 9040 *microcomputador thermometer*).



Fonte: Elaboração própria (2023)

Figura A2.3. Potenciômetro (Modelo CRISON GLP 21 PH)



Fonte: Elaboração própria (2023)

Figura A2.4. Equipamentos usados na titulação (Bureta, suporte, funil e Erlenmeyer)



Fonte: Elaboração própria (2023)

Test #5:

M-ALKALINITY

Total Alkalinity Using 0,02N HCL

Objective: To determine the concentration of Total Alkalinity as CaCO_3 in water using 0,02N HCL.

Method:

1. Take a 50mℓ sample of water to be tested.
2. Add 2 – 3 drops of total alkalinity indicator.
3. If a blue colour develops total alkalinity is present.
4. If blue titrate with 0,02N HCL until green/yellow end point.
5. Record the mℓs of 0,02N HCL used.
6. Total Alkalinity (ppm as CaCO_3) = mℓs 0,02N x 20.

For 50 mℓ : Total Alkalinity (ppm as CaCO_3) = 0,02N HCL x 20

For 20 mℓ : Total Alkalinity (ppm as CaCO_3) = 0,02N HCL x 50

Reagents:

0,02N HCL	250mℓ plastic bottle - expiry date recorded
Total Alkalinity Indicator	30mℓ plastic bottle-expiry date recorded

Matola-Moçambique
Mobile: +258 84 5700211 | +258 84 4050965
NUI: 400576459
info@mz-titan.com | www.titan.co.mz



Test #7:

CHLORIDE

Chloride Using 0.025N Silver Nitrate

Objective: To determine the concentration of chloride in water using 0,025 N Silver Nitrate.

Method:

1. Take a 50mℓ sample of water to be tested.
2. Add 2 - 3 drops of phenolphthalein indicator.
3. If the sample turns pink add Acetic Acid until pink colour disappears. (when analysing boiler water).
5. Add 2 – 3 drops of potassium chromate indicator.
6. The sample will now be yellow.
7. Titrate with 0,025N AgNO₃ to a light reddish end-point.
8. Record the mℓs of 0,025N AgNO₃ used.

Chloride (ppm Cl⁻) = mℓs 0,025N AgNO₃ x 17,75.

Note: If boiler waters are tested, 10mℓ samples and factor 89 should be used.

If condensates or demineralised water are tested, 200mℓ samples and factor 4,45 should be used.

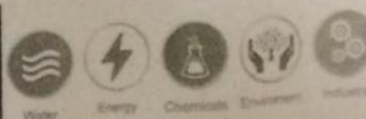
Reagents:

Potassium Chromate Indicator
0,025N AgNO₃

30mℓ plastic bottle - expiry date recorded
250mℓ black plastic bottle - expiry date recorded

Matola-Moçambique
Mobile: +258 84 5700211 | +258 84 4050965
NUT: 400576459
info@mz-titan.com | www.titan.co.mz

Titan
Group



Apêndice 1.2. Resultados das experiências laboratoriais

Tabela A1.2. 1. Temperaturas da água dos efluentes das colunas barométricas

Ord.	Dia s	Horas	Painelas								Evaporador/ Resfriamento		Média
			1	2	3	4	5	6	7	8	Evap	Resfr	
1	24/ mai	9h-12h	55,5	52,5	53,4	58,8	-	60,3	44,6	41,8	37,4		51
2	25/ mai	9h-11h	70,3	55,4	56,2	61,5	-	52,9	65,2	44,2	-	39,8	56
		11h-13h	61	-	51,5	56	-	58,7	40,2	38,7	36,6	57,6	50
		13h-15h	51	-	52,9	59	-	55	48,2	55	40,3	55,8	52
3	26/ mai	9h-11h	58,3	-	58,6	58	58,6	-	-	30	-	-	53
		11h-13h	59,5	-	57,7	58	58,6	-	-	-	-	-	58
		13h-15h	66,8	-	55	54	54,5	-	-	-	-	-	58
		15h-17h	70	48	56,6	35,4	54,3	-	-	-	-	-	53
4	30/ mai	18h-21h	72	58	54	58	55	-	34	30	51	42	50
		21h-0h	58	-	55	58	56	38	34	30	48	40	46
5	31/ mai	2h-5h	53	56	54	60	52	33	30	44	48	37	47
		5h-8h	59	-	27	58	50	-	44	51	46	35	46
		14h-17h	48	59	58	58	58	55	45	35	50	39	51
6	01/ jun	6h-9h	55,1	52,2	52,9	58,8	59,1			39,7		37,4	51
		9h-12h	40,7	51,2	53,3	58,8	60,3			40,7		36,8	49
		12h-15h	41,8	52,6	53	58,7	60,3			41,8		40	51
Média			58	54	53	57	56	50	43	40	45	42	51,3

Fonte: Elaboração própria (2024)

Tabela A1.2. 2. Temperaturas da água dos efluentes das colunas barométricas

Número de amostras		Captação	Efluente s Residuai s
Data	Horas		
24/mai	9h	28	45
	11h	27	46
	13h	28	45
25/mai	9h	26	42,5
	11h	26,6	42,8
	13h	26,7	43,3
26/mai	9h	26,4	43,5
	11h	26,6	44
	13h	26,4	43,9
27/mai	9h	27	42
	11h	26,8	42,5
	13h	25,5	43
28/mai	9h	26	41,5
	11h	26	41,5
Média		26,6	43,3
Desvio padrão		0,7	1,4

Datas	Efluentes residuais				
	pH	SST	Turbi dez	Alcalinid ade Total	Cloret os
24/mai	7,1	52	55	55	40
25/mai	6	61	67	67	30
26/mai	4,3	52	59	90	20
30/mai	6,8	72	83	90	26,63
01/jun	7,1	44	54	60	21,3
02/jun	6,5	101	108	55	20,4
Média	6,3	63,7	71	69,5	26,4
Desvio	1,1	20,6	21,1	16,5	7,8

Fonte: Elaboração própria (2024)

Tabela A1.2. 3. Resultados das propriedades qualitativas dos efluentes

Datas	Parâmetros	Painéis/Evaporadores									
		Pan 1	Pan 2	Pan 3	Pan 4	Pan 5	Pan 6	Pan 7	Pan 8	Eva p	Refr
25/05	pH	7,2	6,86	6,7	6,43		5,01	6,24	4,45		6,31
	SST	18	43	35	36		48	42	39		48
	Turbidez	31	33	50	44		75	51	48		56
	Alcalinidade Total	150	88	100	80		70	110	64		80
	Cloretos	30	17,7 5	26,7	26,7		26,7	21,4	27,6		28,4

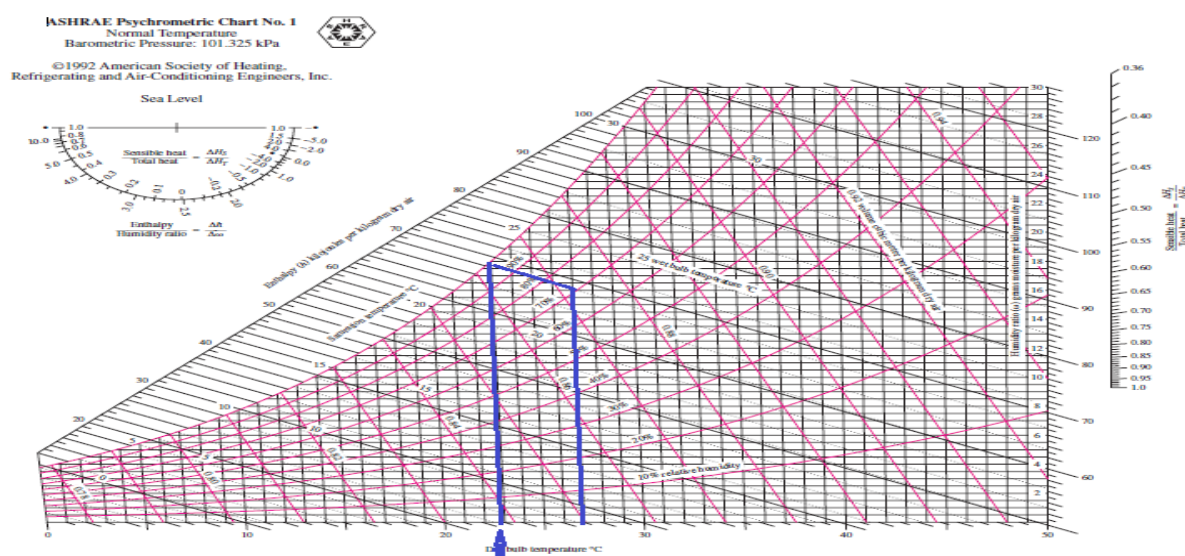
26/05	pH	7,2	7,5	6,85	8,32	7,1	6,75	6,79	6,34	7,02	7,06
	SST (ppm)		62	58	67	57	66	54	59	57	57
	Turbidez		76	68	77	63	79	68	80	73	65
	Alcalinidade Total	100	100	100	90	90	80	90	100	90	80
	Cloretos	30	27	32	27	29	27	29	30	40	26,7
30/05	pH	7,69	7,27	7,13	7,16	7,14		7,71	6,6	7,8	6,2
	SST	26	74	70	72	99		95	92	73	76
	Turbidez	29	90	84	85	96		105	102	91	91
	Alcalinidade Total	30	57	53	62	60		55	60	60	50
	Cloretos	19,2	24	26	23	20		27	27	20	21,3
31/05	pH	6,75	6,63	6,71	6,67	6,61	6,55	6,25	6,15	6,9	6,36
	SST	69	90	74	82	86	81	93	89	84	91
	Turbidez	87	103	84	84	91	95	104	104	94	106
	Alcalinidade Total	55	50	70	80	50	39	25	57	52	54
	Cloretos	17,7 5	18	21	23	26,7	17,8	20,4	21,3	21,3	19,5
1/06	pH	5,01	6,24	4,45	7,27	7,13	7,16	7,14	6,34	7,02	7,06
	SST	48	42	39	74	70	72	99	59	57	57
	Turbidez	75	51	48	90	84	85	96	80	73	65
	Alcalinidade Total	70	110	64	57	53	62	60	100	90	80
	Cloretos	26,7	21,4	27,6	24	26	23	20	30	40	26,7
2/06	pH	6,67	6,61	6,55	7,5	6,85	6,6	7,8	8,32	7,1	6,6
	SST	82	86	81	62	58	92	73	67	57	92
	Turbidez	84	91	95	76	68	102	91	77	63	102
	Alcalinidade Total	80	50	39	100	100	60	60	90	90	60
	Cloretos	23	26,7	17,8	27	32	27	20	27	29	27

Fonte: Elaboração própria (2024)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novem- bro	Dezembro
Temperatura média (°C)	27.1	26.9	26.4	24.8	23.1	21.5	20.9	22.2	24	25.4	26.7	27.2
Temperatura mínima (°C)	24	23.8	23.3	21.2	18.9	17.1	16.5	17.3	19.2	21.1	22.7	23.7
Temperatura máxima (°C)	30.6	30.4	29.9	28.6	27.5	26.1	25.6	27.5	29.6	30.4	31.3	31.1
Chuva (mm)	207	164	127	61	26	18	21	14	18	28	81	170
Umidade(%)	78%	78%	79%	75%	71%	70%	71%	67%	67%	68%	70%	75%
Dias chuvosos (d)	15	14	14	9	5	4	5	3	3	5	8	12
Horas de sol (h)	7.8	7.6	7.2	7.5	7.7	7.8	7.5	8.0	8.1	7.9	8.4	8.2

Data: 1991 - 2021 Temperatura mínima (°C), Temperatura máxima (°C), Chuva (mm), Umidade, Dias chuvosos. Data: 1999 - 2019: Horas de sol

Gráfico 5. Determinação da temperatura de bolbo húmido



Apêndice II. Cálculos

Apêndice 2.1. Tratamento estatístico de dados

Cálculo da média aritmética e desvio padrão

Para determinação de média das temperaturas da água de captação com os dados da tabela A2.3, onde $n=14$.

Usando a fórmula: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$, obtém-se o seguinte resultado: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{373}{14} = 26,64286$

I	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	28	1,35714	1,841837
2	27	0,35714	0,127551
3	28	1,35714	1,841837
4	26	-0,6429	0,413265
5	26,6	-0,0429	0,001837
6	26,7	0,05714	0,003265
7	26,4	-0,2429	0,05898
8	26,6	-0,0429	0,001837
9	26,4	-0,2429	0,05898
10	27	0,35714	0,127551
11	26,8	0,15714	0,024694
12	25,5	-1,1429	1,306122
13	26	-0,6429	0,413265
14	26	-0,6429	0,413265
Σ	373	-	6,634286

Para determinação de desvio médio das temperaturas, usa-se a seguinte fórmula matemática:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Onde: $\sum (x_i - \bar{x})^2 = 6,634286$ e $n - 1 = 14 - 1 = 13$

Daí calcula-se: $s = \sqrt{\frac{6,634286}{14-1}} = 0,00016$

Em resumo, tem-se: média: $\bar{x} = 26,64286$ e desvio padrão: $s = 0,00016$. Assim colocando sob forma de erros $\bar{x} \pm s$, tem-se $26,64286 \pm 0,00016$.

Apêndice 2.2. Determinação da água fria dos condensadores barométricos dos Evaporadores e Cozedores.

Usando equações de balanço, determina-se a quantidade da água fria por:

$$m_{\text{água fria}} = m_{\text{evap}} \times \left(\frac{H_v - C p_{\text{água-s}} \times t_{\text{água s}}}{C p_{\text{água-s}} \times t_{\text{água s}} - C p_{\text{água-e}} \times t_{\text{água-e}}} \right)$$

$$m_{\text{água fria}} = m_{\text{evap}} \times \left[\frac{H_v - C p_{\text{água-s}} \times t_{\text{água s}}}{C p_{\text{água-s}} \times (t_{\text{água s}} - t_{\text{água-e}})} \right] \Rightarrow$$

$$Tx_{\text{água}} = \frac{m_{\text{evap}}}{m_{\text{água fria}}} = \frac{H_v - C p_{\text{água-s}} \times t_{\text{água s}}}{C p_{\text{água-s}} \times (t_{\text{água s}} - t_{\text{água-e}})}$$

Sendo:

- **Para os evaporadores:**

$$m_{\text{evap}} = 84 \text{ kg}/t_{\text{cana}} \text{ [dado consultado em ANA (2009)]}$$

$$H_v(57^\circ\text{C}) = 621,41 \text{ cal/g} \text{ [Tabela de propriedades: Moran \& Shapiro (2006)]}$$

$$t_{\text{água sai}} = t_v - \Delta t = 57 - 10 = 47^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{água-e}} = 30^\circ\text{C}$$

$$Tx_{\text{água}} = \frac{H_v - C p_{\text{água-s}} \times t_{\text{água sai}}}{C p_{\text{água-s}} \times (t_{\text{água sai}} - t_{\text{água-e}})} = \frac{621,41 - 1 \times 47}{1 \times (47 - 30)} = 28,81 \text{ kg/TC}$$

$$\text{Logo, } m_{\text{água fria}} = m_{\text{evap}} \times Tx_{\text{água}} = 28,81 \times 0,084 = 2,42 \text{ m}^3/\text{TC}$$

- **Para os cozedores:**

$$m_{\text{evap}} = 170 \text{ kg/TC}$$

$$H_v(65^\circ\text{C a } 92 \text{ mmHg}) = 625,6 \text{ cal/g} \text{ [Tabela de propriedades: Moran \& Shapiro (2006)]}$$

$$t_{\text{água sai}} = t_v - \Delta t = 65 - 10 = 55^\circ\text{C e } t_{\text{água-e}} = 30^\circ\text{C}$$

$$Tx_{\text{água}} = \frac{H_v - C p_{\text{água-s}} \times t_{\text{água sai}}}{C p_{\text{água-s}} \times (t_{\text{água s}} - t_{\text{água-e}})} = \frac{625,6 - 1 \times 55}{1 \times (55 - 27)} = 20,38 \text{ kg/TC}$$

$$\text{Logo, } m_{\text{água fria}} = m_{\text{evap}} \times Tx_{\text{água}} = 20,38 \times 0,170 = 3,46 \text{ m}^3/\text{TC}$$

Daí que, a água necessária a ser utilizada nos condensadores dos evaporadores e das panelas será acrescida com água usada os outros equipamentos para resfriamento dos gases incondensáveis proveniente dos condensadores barométricos, das turbinas e

turbogeradores estimados a uma taxa de 15 litros/h.kW resultando em valores na faixa de 0.18 a 4.50 m³/TC, considerando uma taxa de 4.5 m³/TC (ANA, 2009).

$$m_{\text{água fria Total}} = m_{\text{água fria Evap}} + m_{\text{água fria Coz}} + m_{\text{água fria Equip}}$$

$$m_{\text{água fria Total}} = 2.46 + 3.46 + 4,5$$

$$m_{\text{água fria Total}} = 11.23 \text{ m}^3/\text{TC}$$

A capacidade de processamento actual das moendas estima-se em 120 TCH, então o volume total da água por hora será dado por:

$$Q_{\text{água fria}} = 120 \text{ TCH} \times 11.23 \text{ m}^3/\text{TC} = 1347.26 \text{ m}^3/\text{h} \cong 1350 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para a capacidade máxima de processamento das moendas de 170 TCH, terá o volume total da água de:

$$Q_{\text{água fria}} = 170 \text{ TCH} \times 11.23 \text{ m}^3/\text{TC} = 1908.62 \text{ m}^3/\text{h} \cong 2000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Apêndice 2.3. Determinação da capacidade térmica

Tabela A2.3. Dados de requisição de torres de resfriamento

Dados	Símbolo	Unidade	Valor
Temperatura de bolbo húmido	t_w	°C	23
Temperatura de entrada de água na torre	$t_{\text{água-ent}}$	°C	55
Temperatura de saída de água da torre	$t_{\text{água-sai}}$	°C	30
Approach	-	°C	25
Range	-	°C	7
Vazão de água circulante	$Q_{\text{água}}$	m ³ /h	1350
	$Q_{\text{água}}$	m ³ /h	2000
Capacidade calorífica da água	C_{pw}	cal/kg °C	1000
Eficiência térmica	η	-	0,28
carga térmica (1350 m ³ /h)	$Q(1350)$	kcal/h	33.750.000
carga térmica (2000 m ³ /h)	$Q(2000)$	kcal/h	57.500.000
Perda pela Evaporação (1350 m ³ /h)	$R(1350)$	m ³ /h	5,16
Perda pela Evaporação (2000 m ³ /h)	$R(2000)$	m ³ /h	8,80

Fonte: Elaboração própria (2024)

Apêndice 2.4. Determinação dos custos de aquisição e implantação dos equipamentos

Tabela A2.4. Custos de aquisição e implantação dos equipamentos

Custos	Descrição	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total (USD)	Valor Total (MZN)
Torres de Resfriamento		3	32000	96.000,0	6.144.000,00
Bombas		3	9700	29.100,0	1.862.400,00
Tubos		150m	-	21.040,0	1.346.560,00
Instalação elétrica		-	-	60.000,0	3.840.000,00
Construção civil		-	-	72.000,0	4.608.000,00
Total				253.140,0	16.200.960,0

Fonte: Elaboração própria (2024)

Apêndice 2.5. Determinação dos custos de captação da água

Tabela A2. 5. Custos na captação da água

(II) Indústria	Processamento/ Transformadora	7 500.00	2500	0,17	
Cenário actual		Custo Variável (por campanha)	Fixo (por campanha)	Total	Anos de amortização
Custo da captação da água		804.168,00	17.500,00	1.318.698,00	12,3
Custo de energia eléctrica		497.030,00			

Fonte: Elaboração própria (2024)

Apêndice 2.6. Determinação de Consumo de energia eléctrica

Tabela A2. 6. Consumo Energético na captação da água

			Potência(kW)		
Cenários	Equipamentos	Qt	Unitário	Subtotal	Total
Actual	Bombas de capitação	5	200	1000	1000
Proposto	Torre de resfriamento	2	7,5	15	165
	Bombas	2	75	150	

Fonte: Elaboração própria (2024)

ANEXOS

Anexo I. Dados dos padrões legais

Tabela A1. 1. Padrões Gerais de descargas de Águas Residuais Domésticas e industriais no meio receptor

Parâmetro	Valor máximo admissível	Unidade	Observação
Cor	Diluição 1:20	Presença/ausência	
Cheiro	Diluição 1:20	Presença/ausência	
pH, 25 °C	6.0-9.0	Escala de Sorensen	
Temperatura	35	°C	
DQO	150	mg/l O ₂	
SST	60	mg/l	
Fosforo total	10	mg/l	3 mg/l em zonas sensíveis
Azoto Total	15	mg/l	

Fonte: Regulamento Moçambicano dos Sistemas de Publicas de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, de Junho de 2003.

Tabela A1. 2. Padrões de descargas de Águas Residuais da indústria açucareira no meio receptor

Parâmetros	Valor	M-s
pH	6-8	
DQO	250	
DBO	50	
SST	50	
Óleos e gorduras	10	
Azoto	10	
Fosforo	2	
Aumento de temperatura	<3	

Fonte: Regulamento sobre Padrões de Qualidade Ambiental e de Emissão de Efluentes (BR, 2004)

Tabela A1. 3. Taxas de Água Bruta Regularizada (MT/m³) de Administração Regional de Águas do Centro- ARA-CENTRO

Tipo de Actividade	Tipo de Uso		Taxa Fixa		UGB- Regulariza da (MT/m³)
			Tf1 (Concessã o)	Tf2 (MT/mês)	
(I) Agricultura de Rendimento	Sector Familiar ≤ 1 há		0	0	0
	Sector Comercial ≤ 50 ha		1 500.00	300.00	0.09
	Sector Comercial 50 < ha ≤ 1000		5 000.00	1 000.00	0.12
	Sector Comercial > 1000 há		7 500.00	2 500.00	0.14
(II) Indústria	Processamento/Transformadora		7 500.00	2 500.00	0.17
	Extractiva		25 000.00	5 000.00	0.20
(III) Abastecimento de Água	Pequenos Sistemas (≤ 5000 ligações)		1 000.00	750.00	0.07
	Grandes Sistemas (> 5000 ligações)		5 000.00	2 000.00	0.10
(IV) Termoeléctricas	Central Termoeléctrica ≤ 2 MW		5 000.00	1 500.00	0.8
	Central termoeléctrica 2 ≤10 MW		8 500.00	3 000.00	0.14
	Central termoeléctrica >10 MW		25 000.00	6 000.00	0.20
(V) Outros Usos			1 500.00	300.00	0.12
Actividade	Tipo de uso	Sub-categoria	Taxa Fixa		Tv1: Taxa de uso (MT/m³)
			Renda de concessão (Tf1)	Posse de Licença (Tf2:Mt/mês)	
(VI) Agricultura de Alimentos Básicos	Sector Familiar≤ 1 há	-	0	0	0
	Associados 1<ha ≤ 25	Associados de Subsistência	188.00	0	0.04
	Associados >350 ha	Associados Comerciais	2 500.00	500.00	0.07
	Privados 1 < ha ≤ 25	Privados	187.00	750.00	0.07
	Privados 25 < ha ≤ 350		625.00	875.00	0.09
	Privados > 350 ha		2 500.00	3 333.00	0.11

Fonte: Regulamento de Fixação de Taxas de Água Bruta, em cada Área de Jurisdição das Administrações Regionais de Água (BR, 2006)

Anexo II. Cotações de requisição do equipamento

2.1. Cotação da empresa Ruihai Chiller Co., Lda

Ruihai Chiller Co.,Ltd Add: Room 1301, Longsheng Times Tower, West Industrial Road, Longsheng Community, Dalang Subdistrict, Longhua District, Shenzhen Tel: +86-755-28100982 E-mail: sales01@szzhcl.com					
Quotation Sheet					
To: Tongaat Hulett Attn: Mr.Joaquim Pinifolo Tel: +258870446165 E-mail: joaquiminacioj.pinifolo@gmail.com			From: Daisy Date: 2023-10-23 Tel: 0086 755-28100981 E-mail: sales01@szzhcl.com		
Product Name	Specifications	Qty	Unit	Unit Price (USD)	Amount (USD)
Cooling Tower	Model No. RH-1200L Square Shape 3Phase-400V-50Hz	3	pcs	\$32000	\$96000
Water pump	When flow 720m³ /h, lift 22m Motor:75KW	2	pcs	\$7250	\$14500
Water pipe	Material:Hot dip galvanized steel pipe Diameter: 300mm Length: 100 meters	1	pcs	\$5560	\$5560
Total EXW price					\$116060
Note: 1. The above quotation is quoted base on EXW Shenzhen,China. 2. Warranty: 12 months from the delivery date. 3. Delivery: 5~7 working days after receiving the deposit. 4. Payment term: T/T, 50% in advance,50% before shipment. 5. Note: All T/T fees will be charged by customer side. 6. This quotation is valid within 30days. 7. Manufacturer: Ruihai Chiller Co., Ltd. 8. Country of Origin: China					

<https://ruihai.en.made-in-china.com> sales01@szzhcl.com Mob/WhatsApp: +86 136 7021 2318

Ruihai Chiller Co.,Ltd

Add: Room 1301, Longsheng Times Tower, West Industrial Road, Longsheng Community, Dalang Subdistrict, Longhua District, Shenzhen
Tel: +86-755-28100982 E-mail: sales01@szrhzi.com

Technical Parameters for RH-1200L

Name	Description	Data
Basic Parameters	Cooling Tower Type	Cross Flow with Fiber Glass Construction Type
	Model No.	RH-1200L
	Circulation Cooling Water	1200 m³/h
	Inlet Temp / Outlet Temp.	55℃ / 30℃
	Approach Range	5℃
	Wet-Bulb Temp.	27℃
	Cooling Capacity	4000000Kcal/h
	Noise Level (16M)	55 dB(A)
	Power Supply	400V / 3PH / 50Hz
	Water PH	PH=6-8
	Gas-Water Ratio	0.78 kg/kg
	Flying Water Loss	≤0.005%
	Evaporation Loss	≤0.833%
	HeadLoss	52Kpa
	Net Weight / Operation	9030 kg / 21670 kg
Fan	Fan	Axial Flow Fan
	Blade Diameter (Φ)	2400mm
	Qty of Blades	4pcs×6
	Fan Speed	220r/min
	Motor	Hermetic Waterproof Type
	Driving Method	V - Belt
	Motor Power	7.5KW
	Starting Method of Motor	Y-Δ
Tower Dimension	Length x Width x High	17,940×4,220×3,700 mm
Material	Sprinkler System	F.R.P
	Eliminator bottleneck	
	Casing Shell	
	Water Basin	
	Belt	Composite material
	Fan	Aluminum Alloy
	Motor	Hermetic Waterproof
	Filler	PVC Fills (Fire Resistance)
	Structure, motor frame	Fixed Type with HDG Steel (meet UK BS EN ISO1461: 1999 standard)

<https://ruihai.en.made-in-china.com> sales01@szrhzi.com Mob/WhatsApp: +86 136 7021 2318

2.2. Cotação da empresa WEIFANG HENG AN IMPO & EXP CO., Lda



WEIFANG HENG AN IMP&EXP CO., LTD

WEIFANG HENG AN GROUP CO., LTD

ADD NO.2613 YUHE ROAD, KUIWEN DISTICT, WEIFANG CITY, SHANDONG PROVINCE, P.R.CHINA

Website: hengancooling.com

Email: sales13@wfhengan.com

Mobile: +86 18863628771

Skype: [sales13@wfhengan.com](https://www.skype.com/people/sales13@wfhengan.com)

Open Cooling Tower Quotation

Model & Description	QTY	FOB China Port	
		UNIT PRICE	TOTAL PRICE
GFNL-1200 open cooling tower Type: Counter Flow Open Cooling Tower Fluid: Water Water flow: 650m3/h Water inlet and outlet temp.: 55/27℃ Wet Bulb Temp.: 24℃ Material Casing: FRP Bracket: Galvanized	1SET	US\$49520/SET	USD49520
Galvanized Pipe Φ 323.9*10mm, 150m, 6m/pipe	1SET	US\$19940/SET	USD19940
Galvanized Pipe Φ 273*8.8mm, 12m	1SET	US\$1100/SET	USD1100
Water pump Flow Rate: 650m3/hr Head: 15m Cast Iron	1SET	US\$4220/SET	USD4220
Water pump Flow Rate: 650m3/hr Head: 65m Cast Iron	1SET	US\$12000/SET	USD12000
Total	5SETS		USD86780

Note:

- 1) Payment Term: 30% TT as deposit for production, and 70% TT before delivery.
- 2) Delivery Time: About 55 days after received the deposit.
- 3) Validity of Price: 1 Month
- 4) Load Container: Total need about one 40HQ and one 20ft container.
- 5) Completely knocked-down delivery for cooling tower.

Date: 26th Oct., 2023

2.3. Cotação da empresa Guangdong Xiecheng Intelligent Equipment Co., Lda

 Guangdong Xiecheng Intelligent Equipment Co.,Ltd. QUOTATION						
No: PXC230606-Z1019				DATE: 2023/10/30		
Buyer: Tongaat Hulett		Guangdong Xiecheng Intelligent Equipment Co.,Ltd.				
Add:		No. 7 Plant, 393, Jinou Road, Jianghai District, Jiangmen City, Guangdong, China				
Attn: Mr.Joaquim Pinifolo		Zoey Lam				
Tel:		86 13822 314657				
E-mail: joaquiminacioj.pinifolo@gmail.com		zoey@jmxiecheng.com				
Web:		www.jmxiecheng.com				
The Seller and the Buyer have agreed to close the transactions according to the following conditions stipulated below:						
NO.	Model	Description	Unit	QTY	EXW Unit price (USD)	Total Amount (USD)
1	XC-ST800	800T Round Cooling Tower Voltage: 380V 50Hz 3Phase Motor power: 22KW Flow : 626.4 m3/h	set	1	16,297	16,297
2	KTX200-150-400A	Water Pump Voltage: 380V 50Hz 3Phase power: 75KW Flow : 380 m3/h Distance: 44m	set	3	5,970	17,910
TOTAL AMOUNT						34207
3	XC-ST1000	1000T Round Cooling Tower Voltage: 380V 50Hz 3Phase Motor power: 22KW Flow : 781.2 m4/h	set	1	19,402	19,402
2	KTX200-150-400A	Water Pump Voltage: 380V 50Hz 3Phase power: 75KW Flow : 380 m3/h Distance: 44m	set	3	5,970	17,910
TOTAL AMOUNT						37312
REMARKS: 1. Delivery term : EXW 2. Payment term : : TT,70% deposit , 30% balance payment should be paid before shipment. 3. Packing: polywood case package 4. Delivery time : within 25 working days after received deposit. 5. This quotation is valid for 7 days 6. Picture only for reference . 7. Warranty: within 1 year from date of the factory, if parts failure or damage (except wearing parts), our company provide these parts for free (Except artificial damage and force majeure factors)						

Item	Content	Data	Remark
Basic Parameters	Cooling Tower Type	Counterflow Round Cooling Tower	Water ton series
	Cooling tower model	XC-1000	standard type
	Cooling circulating water volume	1000m³/h	
	Inlet water temperature / outlet water temperature	37°C/32°C	5°C cooler

	Design parameters	Ambient dry bulb / wet bulb temperature	31.5°C/28°C	
		Cooling capacity	50,000,000kcal/h	
		Noise level	68.0dB (A)	standard point
		Power supply	380V/3P/50Hz	
		Water Quality Requirements	PH value= 6 – 8	
		Air-to-water ratio	0.68kg/kg	
		Flying water loss	≤0.02%	
		Evaporation loss	≤0.833%	
		Net weight/running weight	8,150kg/19,800kg	
		Fan Type	axial flow type	
	Fan parameters	Air volume	600,000m ³ /h	
		Fan speed	165r/min	
		Fan Blade Diameter (F)	4,550mm	
		Number of Fan blades	6pcs/set	
		Transmission mode	gear drive	
		Motor power	30 kW	
		Motor starting mode	Y-Δ	
		Water tower diameter (F)	8,600mm	
	Main dimensions	Height of water tower (H)	6,560mm	
		Inlet / outlet pipe size (DN)	400mm/400mm	
		Full/drain pipe size (DN)	100mm/100mm	
		Automatic/manual replenishment size (DN)	50mm/50mm	
		Motors	Fully enclosed waterproof type	
		Fans	Aluminum Alloy	
		Belt	Composite Material	
		Shell body, enclosure	Fiberglass Reinforced Plastic F.R.P.	High quality alkali-free glass fiber mat
	材 质	Water basin, inlet and outlet tank		and resin synthesis
		Sprinkler system	Galvanized Steel Pipe	Tube fixed nozzle water distribution
		Rubber sheet	P.V.C Material	Flame retardant
		Water tower bracket	Hot-dipped galvanized steel	Conforms to British BS EN ISO1461:1999 standard
		Float valves	Brass	
		Air intake system	P.V.C	

Anexo III. Certificação de estágio

Anexo 3.1. Declaração de Estágio na empresa Tongaat Hulett


Tongaathulett
Açucareira de Moçambique, SA

Centro de Formação Profissional de Mafambisse

Declaração

Tongaathulett - Açucareira de Moçambique S.A com Plantação de Cana Sacarina e Fábrica de Açúcar em Mafambisse, Distrito de Dondo, Província de Sofala, declara que o estudante **Joaquim Inácio Joaquim Pinifolo** estagiou nesta Empresa no Departamento Fabril na Secção de Processos, onde exerceu actividades tais como:

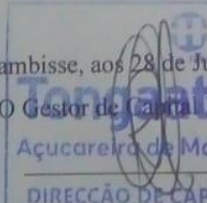
- 1- Análises laboratoriais. Extracção de amostras e realização das análises.
- 2- Extracção de amostras para análise do PH e sólidos suspensos.
- 3- Palestras sobre a secção de Evaporação, Cristalização e secagem nas Centrífugas.
- 4- Palestra sobre entrada da matéria prima (cana) até a produção de açúcar.
- 5- Determinação da humidade do açúcar, da vitamina A, pol e tamanho do grão.
- 6- Levantamento de dados do aquecedor de sumo misto.
- 7- Manutenção de rotina na secção de cristalização. Formação de magma, melaço e açúcar.
- 8- Levantamento de dados e análise laboratoriais. PH, alcalinidade, cloretos e temperaturas.
- 9- Accionamento de bombas de vácuo, controlar os manómetros.
- 10- Descargas das panelas. Quebra de vácuo, fechamento do vapor e válvulas de alinhamento.

É salientar que o estágio foi no periodo entre 06 de Fevereiro de 2023 até 09 de Junho de 2023, tendo tido bom aproveitamento nas actividades desenvolvidas.

A pedido do estagiário, passamos a presente declaração para os devidos efeitos.

Mafambisse, aos 28 de Julho de 2023

O Gestor de Capital Humano


Bernardo Cumbana

Tongaathulett
Açucareira de Moçambique, SA
DIRECÇÃO DE CAPITAL HUMANO
MAFAMBISSE - DONDO

Sede: Fabrica e Plantações de Mafambisse - Estrada Nacional nr. 6 - Distrito de Dondo - Província de Sofala - Moçambique
Telefones: Fixo +258 23 960 300 Celular +258 84 38 70 470 - MAFAMBISSE
NUIT 400058709 - Número de Registo Comercial 1239 - Capital Subscrito 1 506 471 409,00 MT
Email: Tongaath@tip-offs.com Website: www.tip-offs.com FreeCall: 82 3 450 - Mcell only 800 333 312