



ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

**OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS COMO FERRAMENTA DE
SUSTENTABILIDADE –
UM ESTUDO DE CASO NA VERACEL CELULOSE S.A.**

Por

ANTÔNIO VITOR ALVES TRINDADE DE AZEVEDO

PORTO SEGURO, 2022



ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

**OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS COMO FERRAMENTA DE
SUSTENTABILIDADE –
UM ESTUDO DE CASO NA VERACEL CELULOSE S.A.**

Por

ANTÔNIO VITOR ALVES TRINDADE DE AZEVEDO

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

PROF. DR. ALEXANDRE UEZU
PROF. DR. CLAUDIO BENEDITO VALLADARES PADUA
PROFA. DRA. VIRGINIA LONDE DE CAMARGOS

TRABALHO FINAL APRESENTADO AO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL COMO REQUISITO PARCIAL À
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

Ficha Catalográfica

Azevedo, Antônio V. A. T. de

**OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
COMO FERRAMENTA DE SUSTENTABILIDADE –
UM ESTUDO DE CASO NA VERACEL CELULOSE S.A.,**
2022. 68 pp.

Trabalho Final (mestrado): IPÊ – Instituto de
Pesquisas ecológicas

1. Melhoria
2. Meio Ambiente
3. Celulose

I. Escola Superior de Conservação Ambiental
e Sustentabilidade, IPÊ

BANCA EXAMINADORA

LOCAL E DATA

Prof. Dr. ALEXANDRE UEZU

Prof. Dr. CLAUDIO BENEDITO VALLADARES PADUA

Profa. Dra. VIRGINIA LONDE DE CAMARGOS

À Patrícia Bandeira Magnavita, por tudo!

AGRADECIMENTOS

Ao meu Sagrado, agradeço por me dar fé em continuar.

À minha família, agradeço por permanecer sempre comigo.

Aos meus Mestres, por terem me ajudado com toda minha base.

À Veracel Celulose S.A. e ao Instituto Arapyaú, pela oportunidade a mim dada.

RESUMO

A busca pela melhoria contínua nos processos está à tona na atual conjuntura sócio-econômico-ambiental mundial. O crescente uso de recursos naturais do planeta, especialmente da água, aponta para um cenário de escassez, no qual os setores industriais figuram entre os maiores consumidores desses recursos. Nesse cenário, é fundamental aprimorar os processos produtivos, de modo a reduzir o consumo e as externalidades negativas da indústria. Esta pesquisa aborda a relação entre a otimização de processos industriais e a sustentabilidade. O objetivo é avaliar como o aumento da efetividade dos processos produtivos industriais contribui para a redução do consumo de água, identificando as ferramentas que podem ser utilizadas nas indústrias na otimização desses processos. Demonstramos, a partir de uma pesquisa-ação, o estudo de caso de otimização do consumo de água na torre de resfriamento da fábrica da Veracel Celulose, no município de Eunápolis (Bahia). O principal parâmetro utilizado foi a vazão de água de *make-up* para a torre de resfriamento. Os dados foram coletados e analisados através da metodologia *Lean Six Sigma*. Antes da aplicação do projeto, a média dos dados coletados registrou 47.515 m³ por dia; após o projeto, a média caiu para 42.435 m³ por dia. Considerando um ano de 365 dias, chegamos a uma estimativa de economia financeira de R\$370.840,00. Os resultados demonstram uma relação positiva entre a otimização de processos industriais e a sustentabilidade e comprovam que existem alternativas viáveis para a redução do consumo de água na indústria de celulose brasileira, inclusive com o adicional de retorno financeiro para as empresas. A implementação de metodologias como a utilizada neste trabalho (ou outras similares) mostra que, apenas com melhorias operacionais, sem novos investimentos, é possível garantir a diminuição no consumo e nos custos de forma substancial.

Palavras-chave: Melhoria. Meio Ambiente. Celulose.

ABSTRACT

The search for continuous improvement in industrial processes is at the forefront in the current global socio-economic-environmental situation. The growing use of the planet's natural resources, especially water, points to a scenario of scarcity, in which the industrial sectors are among the biggest consumers of these resources. In this scenario, it is essential to improve production processes to reduce consumption and the industry's negative externalities. This research addresses the relationship between the optimization of industrial processes and sustainability. The objective is to evaluate how increasing the effectiveness of industrial production processes contributes to sustainability, identifying the tools that can be used in industries to optimize these processes. We demonstrate, using the Action Research approach, the case study of optimization of water consumption in the cooling tower of Veracel Celulose's factory, located in the city of Eunápolis (Bahia). The main parameter used was the make-up water flow to the cooling tower. Data were collected and analyzed using the Lean Six Sigma methodology. Before the application of the project, the average data collected registered 47,515 m³ per day; after the project, the average dropped to 42,435 m³ per day. Considering a year of 365 days, we calculated an financial savings estimate of R\$370,840.00. The results demonstrate a positive relationship between the optimization of industrial processes and sustainability and prove that there are viable alternatives for reducing water consumption in the Brazilian pulp industry, with additional financial return for companies. The implementation of methodologies like the one used in this work (or similar ones) shows that, with operational improvements only, without any new investments, it is possible to guarantee a substantial reduction in both consumption and costs.

Keywords: Improvement. Enviromental. Pulp.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de água anual das maiores fábricas brasileiras de celulose em 2020, em metros cúbicos por tonelada seca ao ar (m ³ /tsa).....	16
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de água.....	14
Figura 2 – Dados históricos e projeção do consumo de água até 2030.....	15
Figura 3 – Resumo das origens do <i>Lean Six Sigma</i>	16
Figura 4 – Ciclo D-M-A-I-C.....	18
Figura 5 – O processo D-M-A-I-C, segundo Larsson (2022).....	18
Figura 6 – Esquema da etapa de controle do processo D-M-A-I-C.....	21
Figura 7 – Posicionamento da fábrica da Veracel em relação ao rio Jequitinhonha..	23
Figura 8 – Esquema da pesquisa-ação reativa.....	24
Figura 9 – Dados do Indicador da Gestão de Água (IGA) da Veracel em dezembro de 2020.....	26
Figura 10 – Dados do indicador de fluxo de água de reposição para as torres de resfriamento em março de 2020.....	28
Figura 11 – Limite superior.....	30
Figura 12 – Carta I-AM e gráfico de normalidade.....	31
Figura 13 – Alarme de vazão.....	32
Figura 14 – Resultado do <i>brainstorm</i> do projeto.....	33
Figura 15 – Diagrama de Ishikawa das variáveis encontradas.....	34
Figura 16 – Mapa do processo com a análise das variáveis.....	35
Figura 17 – Tela suja na Veracel.....	36
Figura 18 – Comparação do consumo de água entre os primeiros meses do projeto, em março, abril e maio de 2020.....	37
Figura 19 – Comparativos entre telas sujas e limpas.....	39
Figura 20 – Manutenção e pintura dos equipamentos de limpeza.....	40
Figura 21 – Comparativo do residual de ClO_2 nos meses de março e outubro de 2020.....	41
Figura 22 – Controle do processo antes (março de 2020) e depois (março de 2021).....	41
Figura 23 – Teste de normalidade antes e depois.....	42
Figura 24 – Comparação de capacidade entre março de 2020 e março de 2021.....	43
Figura 25 – ANOVA – comparação das médias de vazão entre os meses de março de 2020 e março de 2021.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Água.....	18
2.1.1 Água e indústria.....	18
2.1.2 Uso de água em indústrias de celulose.....	19
2.1.3 Torres de Resfriamento.....	20
2.2 Otimização de processos industriais.....	23
2.2.1 A metodologia <i>Lean Six Sigma</i>	23
2.2.2 Processo D-M-A-I-C.....	25
2.2.2.1 <i>D – Define</i>	26
2.2.2.2 <i>M – Measure</i>	27
2.2.2.3 <i>A – Analyze</i>	27
2.2.2.4 <i>I – Improve</i>	27
2.2.2.5 <i>C – Control</i>	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 Uso da água na produção de celulose na Veracel.....	30
3.2 A pesquisa-ação.....	31
3.3 Problema.....	33
3.4 Pesquisa.....	34
3.4.1 Proposta.....	34
3.4.2 Questão da pesquisa.....	34
3.4.3 Método de pesquisa e estratégia de coleta de dados.....	35
3.4.3.1 Definir (D).....	35
3.4.3.1.1 Limites.....	35
3.4.3.1.2 Meta.....	36
3.4.3.1.3 Retorno financeiro.....	36
3.4.3.2 Medir (M).....	36
3.4.3.2.1 <i>Brainstorm</i>	37
3.4.3.2.2 Diagrama de Ishikawa.....	37
3.4.3.2.3 Mapa de Processo.....	37
3.4.3.3 Analisar (A).....	38
3.4.3.4 Melhorar (I).....	39
3.4.3.5 Controlar (C).....	39
3.5 Análise dos dados.....	40
4 RESULTADOS	41
4.1 Procedimentos de medição.....	41
4.1.1 <i>Brainstorm</i>	41
4.1.2 Diagrama de Ishikawa.....	41
4.1.3 Mapa de Processo.....	42
4.2 Etapas de solução e ação do estudo.....	44
4.3 Procedimento de limpeza das telas.....	46
4.4 Resultados encontrados.....	47
5 DISCUSSÃO	53
6 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
APÊNDICE A – VERACEL CELULOSE	65

1 INTRODUÇÃO

O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 2020 (UNESCO, 2020) diz que a agricultura é responsável por 69% das retiradas de água no mundo (chegando a 95% em alguns países em desenvolvimento), a indústria retira 19% dos recursos de água doce de todo o planeta, enquanto os municípios são responsáveis pelos 12% restantes. Considerando que a água disponível no planeta é finita, os altos índices de consumo repercutem na disponibilidade hídrica para regiões vulneráveis em todo o mundo, indicando a necessidade do uso racional desse recurso.

Outro dado do relatório da UNESCO mostra que a demanda mundial por água dos setores industrial e energético deve crescer em 24% até 2050, indício que ressalta a urgência da adoção de medidas sustentáveis. Corroborando esses dados, o Relatório de 2022 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, ou IPCC) também mostra que, no futuro, a demanda de água doce para os setores de energia e industrial aumentará significativamente em nível global, desencadeando a competição pelo recurso entre os setores (CARETTA *et al.*, 2022).

O perfil da indústria brasileira, analisado pela Confederação Nacional das Indústrias (PERFIL..., 2022), relata que 20,4% do Produto Interno Bruto (PIB) do país é proveniente do setor industrial. Ao mesmo tempo em que a indústria tem esse papel importante na economia, ela também tem um alto impacto sobre os recursos naturais, inclusive sobre a água – como demonstra o Relatório da UNESCO. Dessa forma, a modernização da indústria nacional é imperativa, com a busca de alternativas que garantam a produção e, ao mesmo tempo, diminuam as externalidades negativas desses processos.

Tendo em vista a conjuntura hídrica relatada, é preciso falar sobre a necessidade de redução do consumo de recursos naturais, tanto devido à questão urgente da escassez quanto em função da demanda crescente por vantagens competitivas sustentáveis para os empreendimentos no âmbito dos negócios (GIACCHETTI; AGUIAR; CÔRTEZ, 2017).

Há fatores que pressionam para uma mudança, e, para monitorar as transformações, o mercado tem adotado medições que dão conta do modo como as indústrias manejam tais recursos, com o desenvolvimento de selos e certificações de boas práticas, como a neutralização das pegadas hídrica (HOEKSTRA; MEKONNEN,

2012) e ecológica (CIDIN; SILVA, 2004), o *Environmental, Social and Governance* (ESG) (MATOS, 2020) e os processos de certificação (AVILA; PAIVA, 2006), tal qual as técnicas de redução dos impactos sobre os recursos.

Sobre a pegada hídrica, Hoekstra e Mekonnen (2012) indicam que ela é calculada a partir do uso de águas pluviais (WF verde), subterrâneas e superficiais (WF azul) e de volumes de água poluída (WF cinza). Silva *et al.* (2013) afirmam que se trata de um indicador de sustentabilidade que visa à avaliação dos impactos de produção e consumo, sugerindo que a humanidade demanda mais recursos do que o planeta pode fornecer sustentavelmente. Nesse contexto, cerca de um quinto da pegada hídrica global refere-se ao segmento industrial (HOEKSTRA; MEKONNEN, 2012), ou seja, à água utilizada em operações e processos da indústria. De acordo com Asano *et al.* (2007), os principais usuários industriais de água são as gerações de energia térmica e atômica. Assim, em se tratando de consumo de água, é necessário que as indústrias de forma geral trabalhem para reduzir suas pegadas hídricas, e um dos modos de alcançar esse objetivo é pela eficiência nos processos produtivos (OLIVEIRA, 2005).

Tal eficiência provoca efeitos em cascata: quando economizamos água, conseqüentemente economizamos os químicos utilizados para o tratamento dela (MOTTA, 2021). Uma menor quantidade de água retirada da natureza também permite que a vazão dos rios se mantenha com bons volumes, impactando diretamente nas comunidades do entorno e em cidades que utilizam essas águas para abastecimento (ASANO *et al.*, 2007). Dito de outra forma, a economia na ponta do processo faz com que, em cascata, outros passos sejam favorecidos, trazendo benefícios tanto à produtividade quanto ao contexto social – ao aumentar a segurança hídrica das comunidades locais.

Portanto, a busca da eficiência, ou seja, de produzir mais com menos uso de recursos, contribui para a sustentabilidade. Para além do impacto na redução do consumo de recursos naturais, a eficiência dos processos é também uma demanda concorrencial do mercado.

Devido à crescente pressão por aumento da competitividade para garantia da sobrevivência das empresas, os responsáveis pela gestão destas empresas enfrentam constantemente o desafio de identificar formas de aumento da eficiência de seus processos, através da otimização de recursos buscando o aumento da produtividade e qualidade. (OLIVEIRA, 2005, p. 13).

O mundo está mudando, e quem não acompanhar essa mudança ficará de fora do mercado (FLEURY; FLEURY, 2003). Produzir sem pensar no meio ambiente ecologicamente equilibrado não é mais factível (GIACCHETTI; AGUIAR; CÔRTEZ, 2017), e uma das formas da indústria se adequar a essa nova demanda é por meio da eficiência e da otimização de seus processos industriais (OLIVEIRA, 2005). Trata-se de avaliar aquilo que já funciona e buscar a melhoria contínua, que resultará diretamente em impactos mais sustentáveis – e, com isso, inclui-se também a repercussão positiva no financeiro da empresa.

Ao abordar as estratégias competitivas e competências organizacionais na indústria do Brasil, Fleury e Fleury (2003, p. 134) afirmam que o aumento da eficiência deve ter impacto na redução dos custos. Apesar de sua grande capacidade produtiva, a indústria brasileira teve seus gastos elevados com o passar do tempo, com a influência de fatores como inflação, carga tributária, valor das *commodities*, preço do dólar, dentre outros. Nesse cenário, a melhor abordagem para a redução de custos passa pelos investimentos tecnológicos, em conjunto com a melhoria dos processos operacionais e gerenciais (OLIVEIRA, 2005).

O uso de recursos naturais como fonte de matéria-prima na indústria é um fato, como é o caso do uso da água e do eucalipto plantado para o segmento do papel e da celulose. A celulose é um dos componentes químicos da madeira, assim como a lignina, a hemicelulose, os extrativos e os minerais. Para a indústria conseguir extrair essa celulose da madeira de eucalipto, é necessário um processo químico-físico industrial, o qual demanda o consumo de matéria-prima, produtos químicos, energia e água.

No entanto, a maioria das indústrias de uso intensivo de água (como a da celulose) enfrenta cada vez mais o estresse hídrico, sobretudo somando-se os efeitos das mudanças climáticas, tornando o reuso de água uma estratégia de adaptação atraente (CARETTA *et al.*, 2022). A reutilização da água é particularmente relevante na situação em que o abastecimento disponível já está sobrecarregado e não pode atender à demanda crescente em comunidades em expansão. Em um cenário de escassez hídrica, cada vez mais a sociedade perde a opção de usar a água apenas uma vez (ASANO *et al.*, 2007).

Tendo em vista o contexto relatado, o objetivo desta pesquisa é entender o quanto a melhoria dos processos industriais na produção de celulose pode impactar

na redução do uso dos recursos hídricos e no aumento do retorno financeiro das empresas que se propõem a implementar tais ações.

1.1 Objetivos

Objetivo Geral

Avaliar como o aumento da efetividade dos processos produtivos industriais contribui para a diminuição do consumo de água e a redução dos custos de produção.

Objetivos Específicos

- Aplicar uma metodologia de otimização de processos produtivos com o intuito de aumentar a eficiência no uso dos recursos hídricos;
- Quantificar a redução do consumo de água na produção de celulose na fábrica da Veracel (a partir do aumento da eficiência nos processos produtivos), assim como a diminuição dos custos de produção.

A dissertação está estruturada da seguinte forma: na seção 1, de Introdução, apresentamos as justificativas e o contexto teórico que mostram a importância da pergunta a ser respondida. O capítulo 2 trata do referencial teórico necessário para o embasamento da pesquisa. Já no capítulo 3, relatamos os materiais e métodos que permitiram responder à pergunta do estudo. Discutimos os resultados principais do trabalho no capítulo 4, à luz dos contextos teórico e aplicado sobre a eficiência dos processos produtivos e a economia no uso dos recursos hídricos. Por fim, o item 5 encerra a dissertação com as principais conclusões deste estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

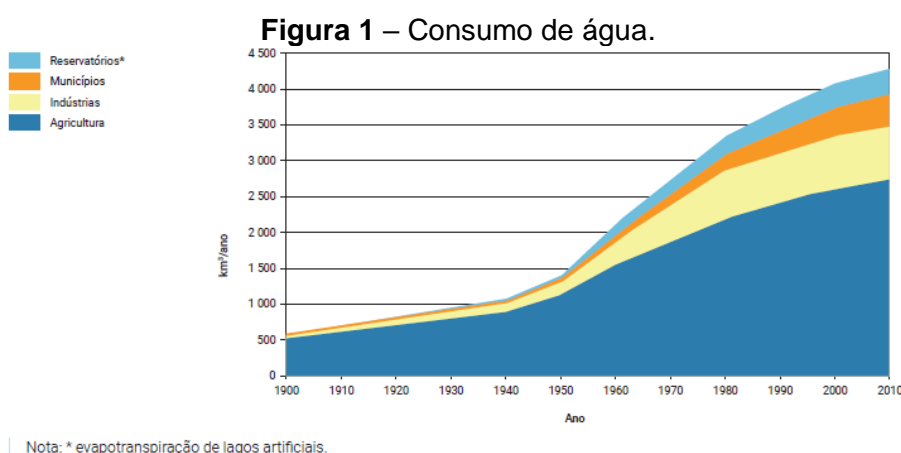
Neste capítulo, relatamos o embasamento científico que norteou toda a pesquisa de mestrado. Primeiramente, discutimos o elemento-chave do estudo, que é a água. Refletimos sobre como se dá a ligação entre a água e a indústria em geral, assim como sobre o uso de água em indústrias de celulose, com um breve comparativo das maiores empresas de celulose brasileiras em relação à Veracel.

Em um segundo momento, analisamos um referencial teórico que aborda a otimização dos processos industriais com ênfase na metodologia do *Lean Six Sigma*. Tal metodologia abrange cinco passos a serem seguidos, representados pelo acrônimo D-M-A-I-C, o qual também é detalhado no texto.

2.1 Água

2.1.1 Água e indústria

A água é um elemento essencial para o setor da indústria. Todo processo produtivo demanda consumo de água, e, ao longo de muitos anos do processo de industrialização das sociedades modernas, tal consumo não foi avaliado com o devido rigor – já que a abundância em determinadas regiões levou à falsa impressão de se tratar de um elemento inesgotável do planeta. Dados do Relatório Mundial da ONU (UNESCO, 2020) mostram que o consumo de água vem aumentando de forma significativa desde o início do século XX (Figura 1).

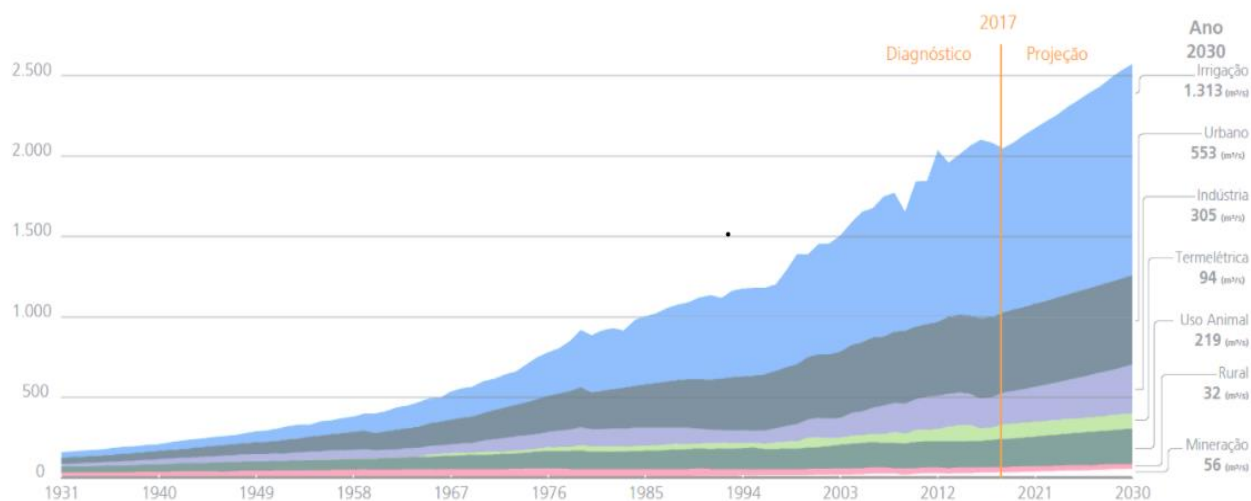


Fonte: UNESCO (2020, p. 2).

Um estudo da Agência Nacional de Águas mostra que, a cada segundo, são utilizados, em média, dois milhões e 83 mil litros de água no Brasil (ou 2.083 metros cúbicos por segundo). A título de comparação, em 1931, eram utilizados apenas 131 mil litros por segundo – 6,3% do uso atual (Figura 2). O consumo de água deve

crescer em 24% até 2030, superando a marca de 2,5 milhões de litros por segundo (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019).

Figura 2 – Dados históricos e projeção do consumo de água até 2030.



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019).

As dificuldades de acesso aos recursos hídricos, a forma como os recursos naturais são explorados, o crescimento e o desenvolvimento das sociedades e o correspondente crescimento populacional, entre outros fatores, contribuem para a escassez hídrica em algumas partes do planeta, tanto quantitativa como qualitativamente (PEDDE; KROEZE; RODRIGUES, 2013). Tal fato impacta diretamente o setor produtivo industrial (GIACCHETTI; AGUIAR; CÔRTEZ, 2017).

2.1.2 Uso de água em indústrias de celulose

Carvalhoes (2018), presidente do Instituto Brasileiro de Florestas, no artigo “O papel do Brasil na crise hídrica mundial”, mostra que o setor de celulose capta em seu produto apenas 0,3% da água usada, ou seja, a celulose é produzida com 99,7% de secura (de água presente nela). Do restante, 80% do volume retorna ao ponto de origem, e 19,7% volta à atmosfera em forma de vapor. A água dos reservatórios industriais é utilizada durante cinco ciclos, tratada e depois retorna aos rios.

Quando analisamos o uso de água nas maiores indústrias de celulose do Brasil no ano de 2020 em metros cúbicos por tonelada seca ao ar (m³/tsa), podemos comparar a pegada hídrica dessas companhias. Os dados de consumo, de acordo com os respectivos Relatórios de Sustentabilidade das maiores fábricas de celulose do país, estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Consumo de água anual das maiores fábricas brasileiras de celulose em 2020, em metros cúbicos por tonelada seca ao ar (m³/t_{sa}).

EMPRESA	CONSUMO (m ³ /t _{sa})
CENIBRA	38,92
BRACELL (BA)	31,7
ELDORADO	24,7
KLABIN	23,72
VERACEL	22,2

Fonte: relatórios Eldorado (2020), Klabin (2020), Cenibra (2020), Veracel (2020) e Bracell (2020).

2.1.3 Torres de Resfriamento

Giorgia Cortinovis (2005) ensina que, em muitos processos, há necessidade de remover carga térmica de um dado sistema e usa-se, na maioria dos casos, água como o fluido de resfriamento. Devido à crescente escassez desse elemento natural e às preocupações com o meio ambiente, em adição aos motivos econômicos, é necessário que a água "quente" que sai desses resfriadores seja reaproveitada. Para tanto, ela passa por um outro equipamento que a resfria, em geral uma torre chamada de torre de resfriamento evaporativo (*evaporative cooling tower*), e retorna ao circuito dos resfriadores de processo.

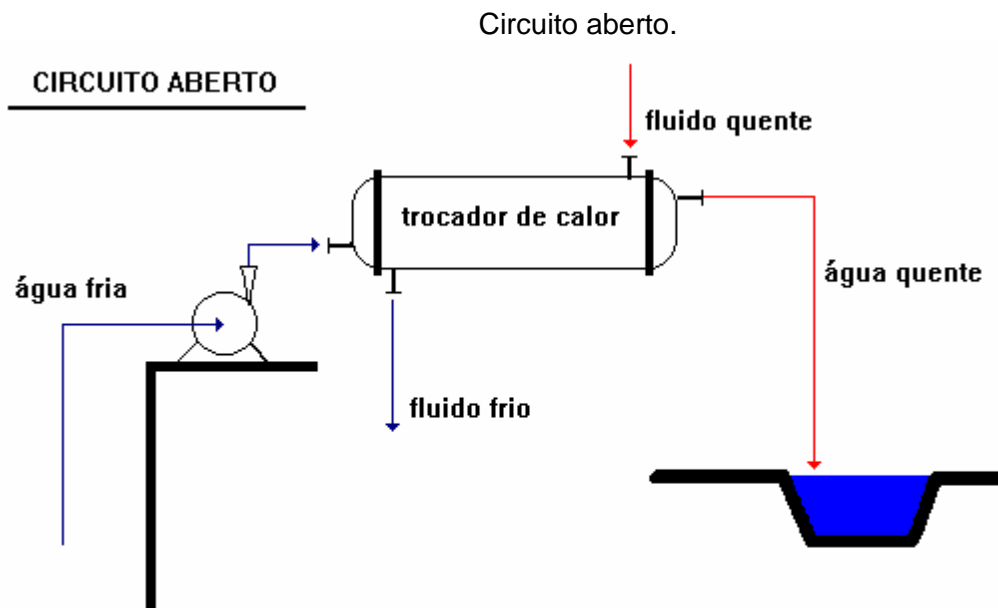
Em outras palavras, a torre de resfriamento é uma planta extremamente importante, que faz com que o processo aconteça com o reuso de água. Ela representa um dos principais parâmetros de reaproveitamento de água no ambiente fabril, e sua boa funcionalidade garante uma economia de água constante no processo. Lilian Cardoso de Mello (2008) explica que, embora a torre exerça uma função de importância nas condições operacionais do processo, trata-se de um equipamento que recebe pouca atenção no pátio industrial, exceto nas fases de projeto da fábrica e de especificação da torre.

De fato, como em todo processo industrial, podem ocorrer falhas ou interrupções; mas, a busca desses problemas, na maioria das vezes, focaliza-se no processo propriamente dito, raramente se direciona a atenção para o serviço de utilidades e a torre de resfriamento constitui um exemplo disso. (MELLO, 2008, p. 21).

Segundo Mancuso (2001), há três tipos principais de torres de resfriamento:

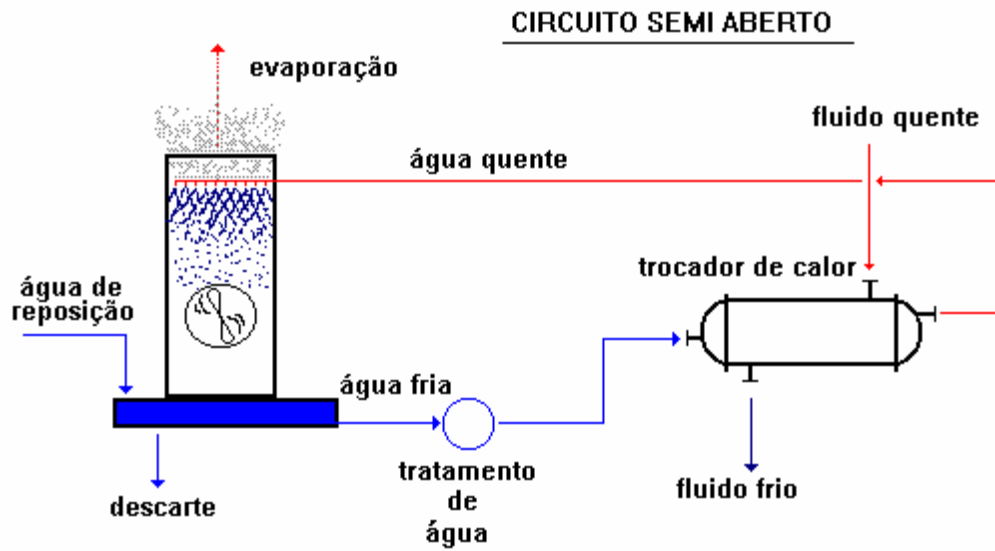
- Circuito aberto: são sistemas não evaporativos, onde a água não é reaproveitada, uma vez que é descartada após ter sido utilizada na troca térmica;

- Circuito semiaberto: nesses sistemas, todo calor absorvido pela água é dissipado em forma de calor latente e calor sensível nas torres de refrigeração, à razão de 75% a 90% em forma de calor latente e o restante na forma de calor sensível. Para tanto, uma parte da água é evaporada, e a outra é arrastada pelo vapor e pelo fluxo de ar;
- Circuito fechado: também não são evaporativos e teoricamente não devem apresentar perdas de água.



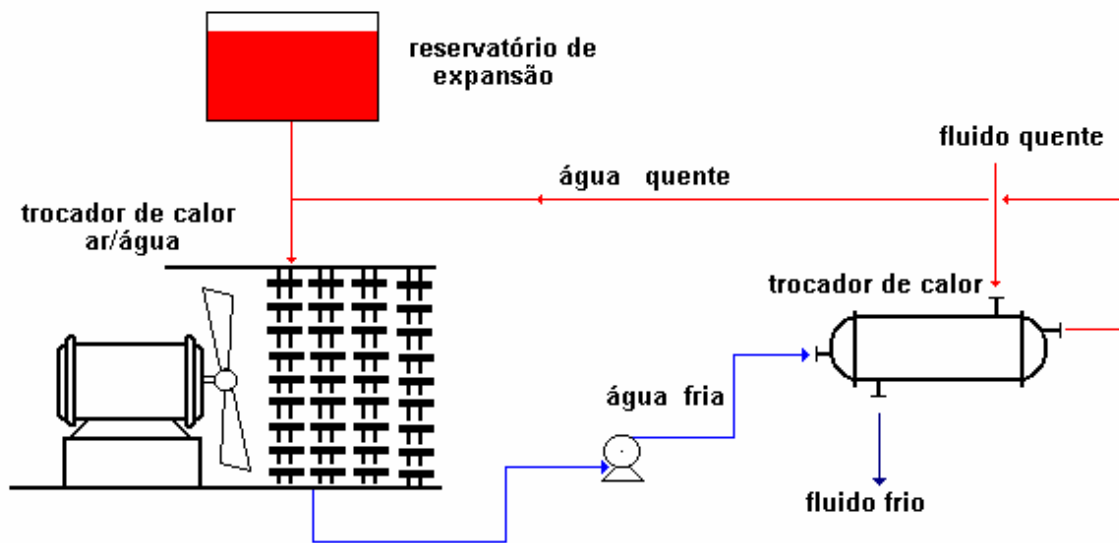
Fonte: Mancuso (2001, p. 4).

Circuito semiaberto.



Fonte: Mancuso (2001, p. 5).

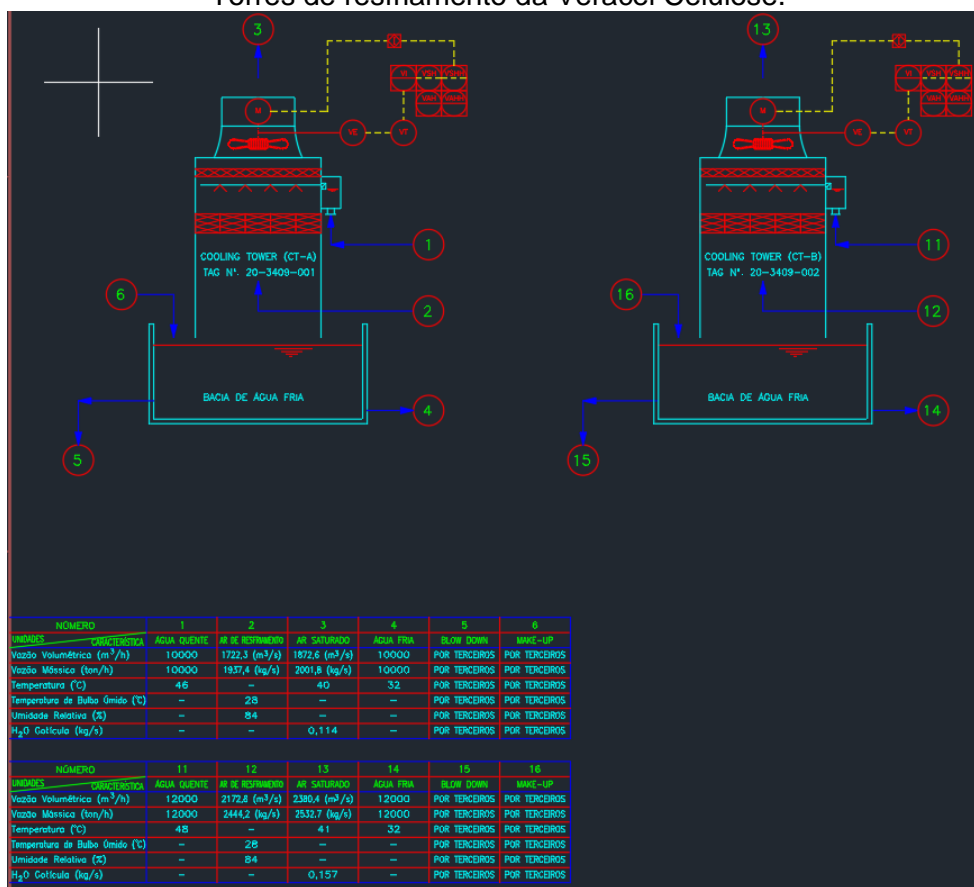
Sistema fechado.



Fonte: Mancuso (2001, p. 5).

As torres de resfriamento da Veracel são do tipo semiaberto.

Torres de resfriamento da Veracel Celulose.



Fonte: elaboração nossa, a partir de dados internos da Veracel (2022).

A Coordenação de Recuperação e Utilidades (CRU) é uma das coordenações da Diretoria Industrial da Veracel. Ela é composta por: caldeira de recuperação; caldeira de força; desmineralização; pátio de óleo; turbogerador; compressores, evaporação; e torres de resfriamento, o objeto deste estudo.

A CRU possui duas torres de resfriamento de sistema semiaberto: uma composta de três células e de vazão total de 10.000 m³/h, que atende os setores de evaporação e cozimento e a máquina de secagem; e outra composta de quatro células e de vazão total de 12.000 m³/h, atendendo o turbogerador e outras áreas de processo da fábrica.

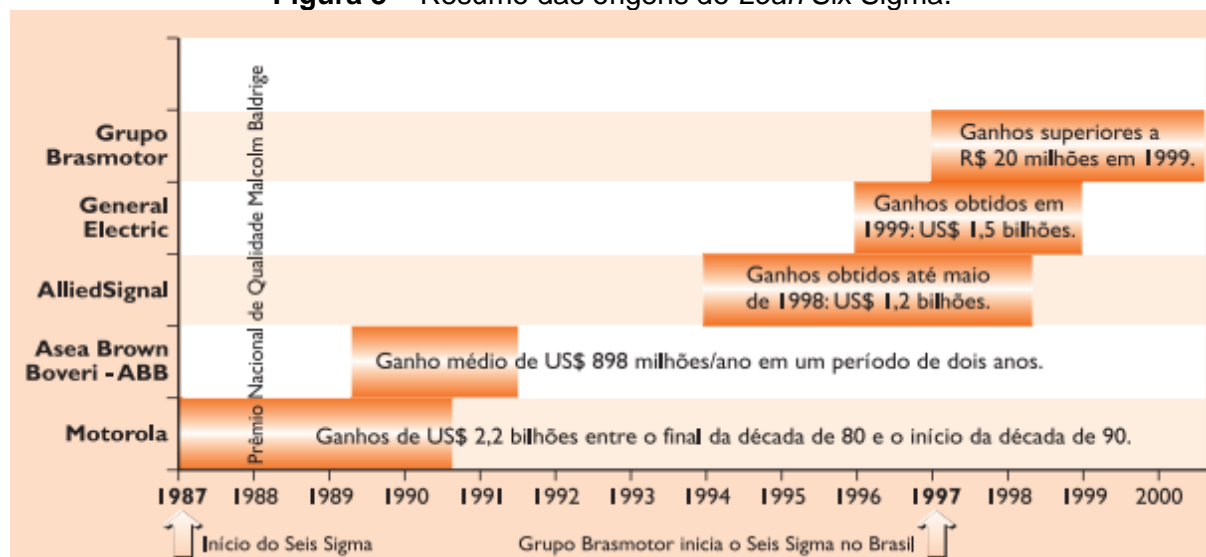
2.2 Otimização de processos industriais

2.2.1 A metodologia Lean Six Sigma

O *Lean Six Sigma* possui um tratamento particular, uma metodologia própria para tornar uma empresa extremamente boa naquilo que faz. Basu (2022, p. 34) explica que é uma abordagem para melhorar a qualidade e o atendimento ao cliente

com o intuito de chegar a resultados melhores, a qual teve início entre os anos de 1985 e 1986, a partir de várias iniciativas de qualidade da empresa de telecomunicações Motorola (Figura 3). Entre o final da década de 1980 e o início dos anos 1990, a Motorola obteve ganhos de 2,2 bilhões de dólares com o programa (WERKEMA, 2012. p. 12).

Figura 3 – Resumo das origens do *Lean Six Sigma*.



Fonte: Werkema (2012, p.13).

Segundo Oliveira (2005), o Six Sigma

surgiu de um novo enfoque de solução estruturada de problemas, que foi ganhando popularidade nas modernas organizações, face aos resultados obtidos tanto no intrínseco da qualidade do produto/serviço, performance operacional, bem como suporte ao Sistema de gestão. (OLIVEIRA, 2005, p. 17).

O objetivo de seguir esse conjunto de práticas, segundo Madhani (2022, p. 2), é buscar métodos aprimorados para encontrar e eliminar as causas de defeitos ou de erros no processo, a partir dos elementos identificados como os problemas do cliente. Em outras palavras, o *Lean Six Sigma* trata de “defeitos” processuais, e sua principal ação é eliminá-los ou reduzi-los. Quando falamos estatisticamente, segundo o autor, o Six Sigma significa 3,4 defeitos por milhão de oportunidade (ou DPMO). É, assim, um método destinado a melhorar o desempenho e a capacidade dos processos.

Cristina Werkema (2012) ressalta, no entanto, que o programa deve ser entendido de forma mais ampla, como mostrado a seguir:

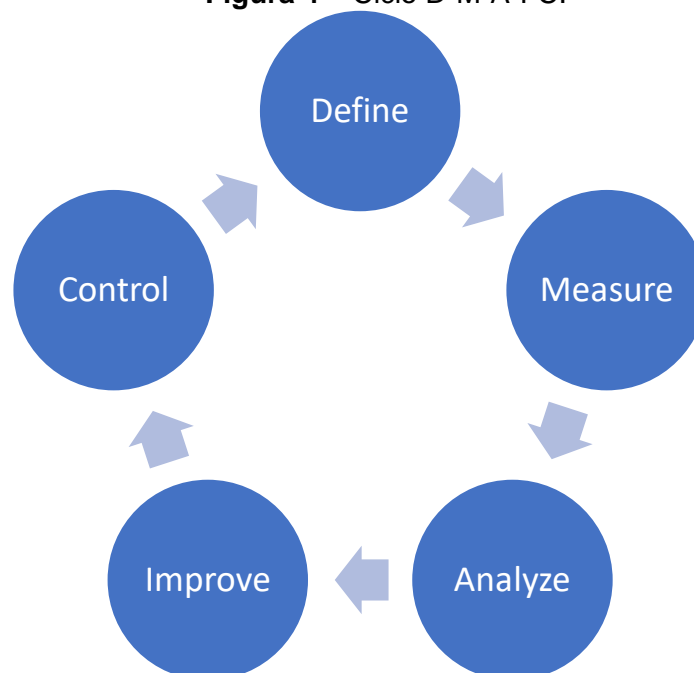
- A escala: É usada para medir o nível de qualidade associado a um processo, transformando a quantidade de defeitos por milhão em um número na Escala Sigma. Quanto maior o valor alcançado na Escala Sigma, maior o nível de qualidade.
- A meta: O objetivo do Seis Sigma é chegar muito próximo a zero defeito – 3,4 defeitos para cada milhão de operações realizadas.
- O *benchmark*: É utilizado para comparar o nível de qualidade de produtos, operações e processos.
- A estatística: É uma estatística calculada para o mapeamento do desempenho das características críticas para a qualidade em relação às especificações.
- A filosofia: Defende a melhoria contínua dos processos e da redução de variabilidade, na busca de zero defeito.
- A estratégia: É baseada no relacionamento existente entre projeto, fabricação, qualidade final e entrega de um produto e a satisfação dos consumidores.
- A visão: O programa visa levar a empresa a ser a melhor em seu ramo (WERKEMA, 2012, p. 15-16).

Pensando nisso, é possível associarmos os benefícios do *Lean Six Sigma* na resolução de problemas ambientais, sejam eles da área fabril ou não.

2.2.2 Processo D-M-A-I-C

Um dos elementos da estrutura do *Lean Six Sigma* é realizado com base em um método denominado D-M-A-I-C. A sigla vem do inglês e representa o acrônimo das palavras: *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Melhorar) e *Control* (Controlar). O processo está ilustrado na Figura 4.

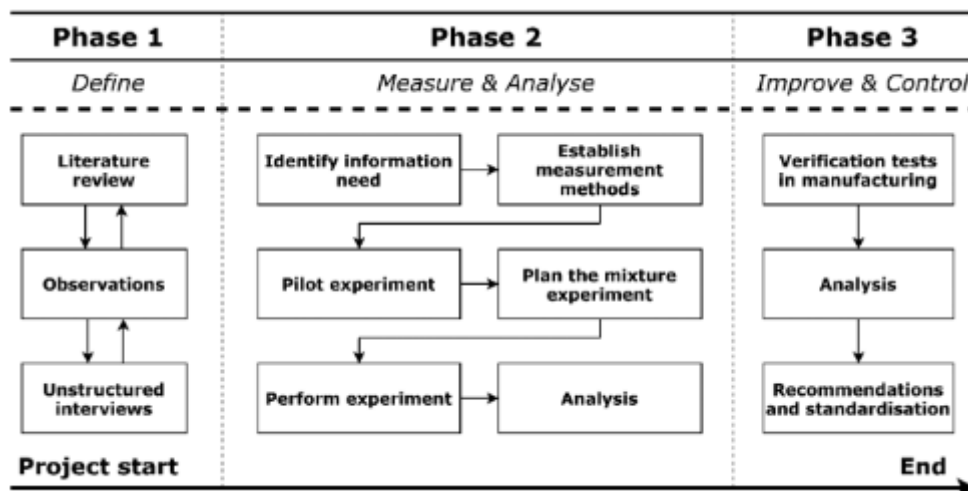
Figura 4 – Ciclo D-M-A-I-C.



Fonte: adaptado de Werkema (2012).

Para Larsson (2022), o D-M-A-I-C é dividido em três fases: a primeira é composta pelo momento de definição; a segunda, pelas fases de medição e análise; e a terceira e última, pelas etapas de melhoria e controle (Figura 5).

Figura 5 – O processo D-M-A-I-C, segundo Larsson (2022).



Fonte: Larsson (2022).

Na sequência, discorreremos sobre cada uma das etapas do processo.

2.2.2.1 D – Define

Nesta fase, devem ser analisados quais são os problemas da organização, ou seja, qual é a reclamação do cliente. Segundo Larsson (2021), as atividades deste momento visam a aprofundar o entendimento do problema dos desvios. A etapa contempla a pesquisa bibliográfica e uma série de observações e entrevistas com os envolvidos no processo. As metas a serem alcançadas devem ser definidas, e é necessário avaliar se o problema é de produção ou de qualidade. É aqui que o primeiro esboço do projeto deve ser feito.

Werkema (2012) diz que esta é a etapa para definir com precisão o escopo do projeto, com atenção para tópicos como: a validação da importância do projeto; a constituição da equipe responsável pelo projeto; a elaboração do *Project Charter* (documento com as premissas do projeto); e a identificação das principais necessidades dos clientes/consumidores.

É, com isso, a etapa onde as peças estão na mesa. Trata-se da interface entre o responsável pelo projeto e o cliente.

2.2.2.2 M – Measure

A partir da definição do problema, entra-se na fase de coleta de dados iniciais. É importante coletar o máximo possível de dados sobre as entradas e saídas do processo, para assim ser possível fazer uma análise estatística ideal. Os dados devem ser verificados e consistentes, pois só assim será possível calcular a capacidade do projeto. A capacidade pode ser especificada por meio de índices que quantificam o nível de desempenho do processo em atender às especificações do produto (BAYEUX, 2001).

Werkema (2012) afirma que, se os dados existentes não são confiáveis, eles devem ser descartados e coletados novamente. Por outro lado, caso exista uma confiabilidade dos dados, eles devem ser usados para assim se ter uma base de identificação dos problemas prioritários. Segundo a autora, é nesta fase que deve se estabelecer a meta de cada problema prioritário. É a etapa de determinação da localização ou do foco do problema.

2.2.2.3 A – Analyze

Aqui, é preciso levantar a lista das variáveis potenciais priorizadas. No projeto realizado pelo Larsson (2021), foi nesta etapa que ele começou a estimar as correlações lineares entre as respostas obtidas anteriormente. Se as variáveis puderem ser analisadas quantitativamente, é preciso desenhar as hipóteses e testá-las através de ferramentas estatísticas. Se, ao contrário, as variáveis não puderem ser analisadas quantitativamente, deve-se fazer a análise por meio de ferramentas qualitativas. A partir disso, é possível montar uma lista das variáveis vitais a serem trabalhadas na fase de melhoria.

Determinar as causas de cada problema prioritário é a meta deste momento, assim como analisar o processo gerador de tais problemas. É nesta etapa que se quantifica a importância das causas potenciais prioritárias (WERKEMA, 2012).

2.2.2.4 I – Improve

Na quarta fase do processo, é preciso montar um plano de ação com as modificações previstas e as possíveis experiências e, logo após, identificar os níveis

de melhor desempenho do processo para cada variável. É a fase que se propõe à implementação de soluções para cada problema encontrado e priorizado (WERKEMA, 2012).

[Nesta etapa] são determinadas, com base na análise realizada e na identificação das causas vitais de variação do processo, quais serão as ações de melhoria executadas para aumentar a capacidade do processo (OLIVEIRA, 2005, p. 40).

Somente a partir desses dados será possível apresentar um novo mapa de processo para, assim, confirmar a melhora da capacidade (novo sigma) e se a meta foi alcançada ou não.

2.2.2.5 C – Control

Por fim, a fase do controle prioriza a identificação das poucas variáveis a serem controladas. Esta etapa garante que o alcance da meta seja mantido a longo prazo (WERKEMA, 2012). Para Oliveira (2005), é o momento que visa a controlar as causas significativas do processo, mantendo a capacidade dele após as ações já propostas nas fases anteriores. Os resultados devem ser acompanhados para que seja possível garantir o controle do processo como um todo.

A Figura 6 ilustra o detalhamento da fase de controle apresentado por Werkema (2012).

Figura 6 – Esquema da etapa de controle do processo D-M-A-I-C.



Fonte: adaptado de Werkema (2012, p. 31).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Uso da água na produção de celulose na Veracel

A fábrica da Veracel¹ foi inaugurada em 2005, com a produção de celulose branqueada tipo Kraft. A sede fabril da empresa é localizada na Rodovia BA-275, Fazenda Brasilândia, no Km 24 na Zona Rural de Eunápolis, na Bahia, e é abastecida pelo rio Jequitinhonha, a montante da fábrica. A captação tem a capacidade média de absorver três mil metros cúbicos de água por hora, e o líquido passa por toda uma estação de tratamento, a qual fornece-o para os diferentes setores da fábrica em três caminhos: água bruta tratada, água de incêndio e água de consumo.

A maior parte da água é do tipo bruta tratada, que alimenta as diversas plantas da Veracel, inclusive a desmineralização, com cerca de 600 m³/hora. Essa planta é responsável por tratar a água utilizada posteriormente nas caldeiras, sendo necessário um processo físico-químico para retirada dos íons, transformando-a em uma água 100% pura. Tal processo é importante para a proteção dos tubos das caldeiras, pois evita incrustações, desgastes e arrastes de minerais.

As caldeiras, por sua vez, produzem o vapor com alta pressão e temperatura, utilizado como força motriz no turbogerador. Tal vapor passa por um conjunto de hélices dentro da turbina, as quais aproveitam sua força motriz para girar o eixo de um gerador que, através de corrente eletromagnética, transforma a energia mecânica em energia elétrica. No caso da Veracel, o vapor excedente é condensado no condensador principal do tipo “casco e tubo”, que utiliza, como meio de troca térmica, a água que vem das torres de resfriamento. Esse condensado retorna para o processo para ser utilizado novamente como água de alimentação das caldeiras. Apenas 35% da água de alimentação é composta de água desmineralizada nova, o restante é formado pelo retorno de condensado.

Parte da água bruta tratada (cerca de dois mil m³ por hora) serve como *make-up* (reposição) nas torres de resfriamento. O restante serve para os demais fins fabris.

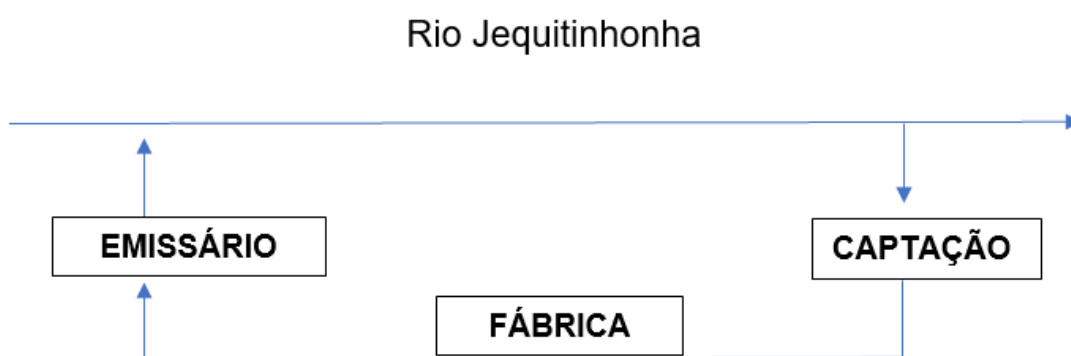
Os efluentes (as águas resultantes dos processos de produção) gerados em todas as plantas da fábrica são tratados com a mais rigorosa qualidade. O emissário fica a jusante da fábrica e, em operações normais, libera no rio uma água com características físico-químicas melhores do que a captação em uma quantidade de

¹ Mais detalhes sobre a Veracel Celulose estão disponíveis no Apêndice A.

cerca de 2.950 m³ por hora, ou seja, cerca de 98% da água captada retorna para o rio.

A forma da captação ser a jusante (mais próxima da foz), e o emissário, a montante da fábrica (mais próximo da nascente) garantem uma maior qualidade no tratamento das águas do rio Jequitinhonha, pois asseguram o ciclo dessa água (Figura 7).

Figura 7 – Posicionamento da fábrica da Veracel em relação ao rio Jequitinhonha.



Fonte: elaboração nossa (2022).

Por estar inserido no cotidiano dos processos industriais da Veracel, o autor desta dissertação está em contato direto com as demandas da área e teve condições de implementar uma pesquisa de cunho teórico-prático, ao aplicar métodos, procedimentos e ações na identificação e na resolução de um problema.

Como a redução do consumo de água é uma das premissas da Veracel, e um dos maiores consumidores de água da fábrica é o setor das torres de resfriamento (no qual o autor está inserido)², a metodologia da pesquisa-ação foi escolhida como o método de pesquisa mais adequado a ser seguido, já que o intuito é analisar a possibilidade de redução do consumo de água e agir sobre esse problema.

3.2 A pesquisa-ação

Para avaliar se a melhoria nos processos produtivos acarreta a redução no uso de água no sistema produtivo da celulose e, conseqüentemente, uma redução no custo de produção, foi aplicada a metodologia de pesquisa-ação (CRAIG, 2009; ADU, 2016). A coleta de dados se deu a partir do estudo de caso *in loco*, no qual

² Apresentamos mais informações sobre torres de resfriamento no Apêndice B.

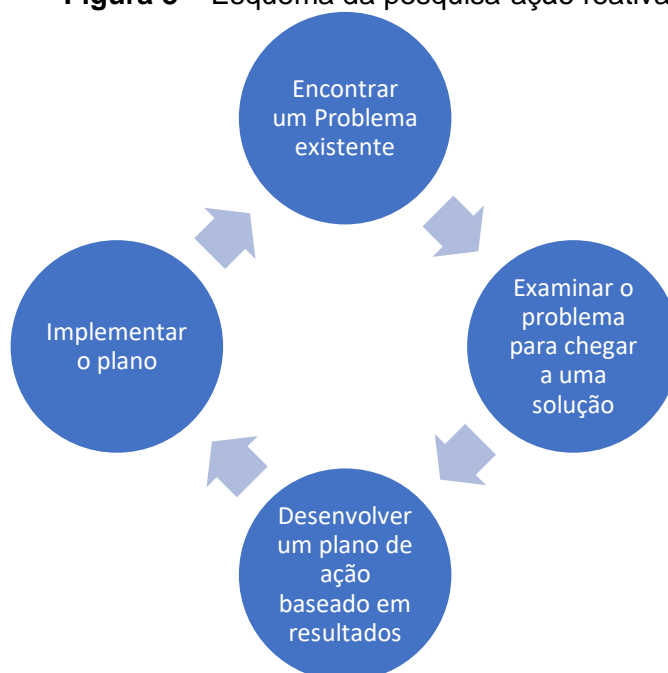
informações do fluxo de água de reposição para as torres de resfriamento da Veracel foram coletadas diariamente, de março de 2020 até março de 2021.

A pesquisa-ação é uma metodologia de pesquisa qualitativa que está relacionada à orientação de intervenção por parte do pesquisador (ADU, 2016). Segundo Menelau *et al.* (2015), mais do que produzir conhecimento à comunidade científica, o pesquisador deve intervir no mundo real para alcançar a resolução do problema de pesquisa. Eden e Huxham (1996) consideram a pesquisa-ação como o resultado de um envolvimento dos membros de uma organização sobre um assunto que é de preocupação para eles.

A pesquisa-ação é um processo sistemático em que há a coleta, a análise e a interpretação de dados, que podem ser gerais ou de problemas práticos. Com isso, é possível a criação de uma potencial solução para esses problemas, a partir dos resultados encontrados. Os participantes da pesquisa podem ser ativamente envolvidos no processo do começo ao fim do estudo. De acordo com Craig (2009), há três formas de se chegar a uma pesquisa-ação: pesquisa-ação reativa; pesquisa-ação proativa e pesquisa-ação de inovação.

No caso desta dissertação, temos uma pesquisa-ação reativa, cuja premissa está ilustrada na Figura 8:

Figura 8 – Esquema da pesquisa-ação reativa.



Fonte: adaptado de Adu (2016, p. 7).

Segundo Adu (2016, p. 13), para se obter o melhor resultado de pesquisa, a metodologia é dividida nas seguintes fases:

- Problema:
 - Problema prático;
 - Problema pesquisável.
- Pesquisa:
 - Proposta;
 - Questão da pesquisa;
 - Método de pesquisa;
 - Estratégia de coleta de dados;
 - Análise dos dados;
- Solução:
 - Descobertas;
 - Plano de Ação.
- Ação:
 - Implementação;
 - Medição.

3.3 Problema

O problema pesquisável deste estudo é o consumo de água realizado pela indústria para os processos produtivos e os modos possíveis de diminuição desse consumo e, conseqüentemente, da pegada hídrica do setor fabril. Desejamos saber o quanto a melhoria dos processos industriais pode impactar na redução do uso dos recursos naturais e se há retorno financeiro para as empresas que se propõem a implementar tais melhorias.

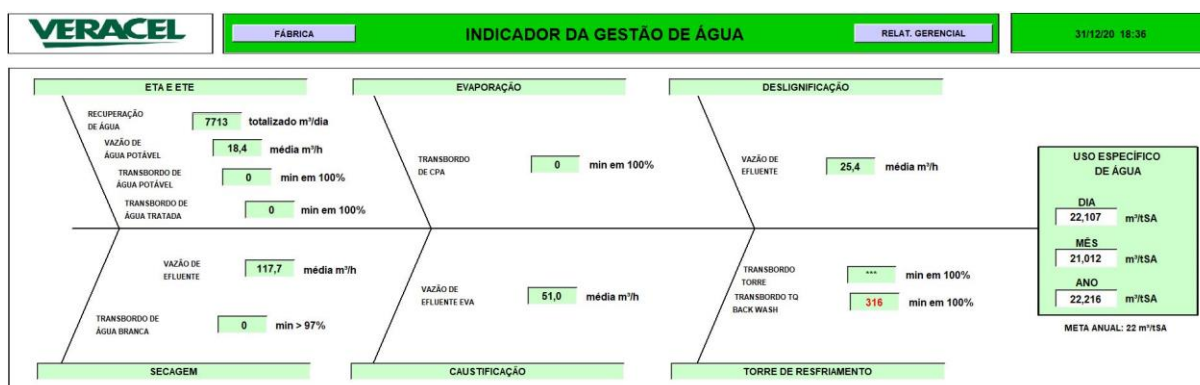
A água é vital para o desenvolvimento socioeconômico da humanidade, e seu consumo tende a aumentar proporcionalmente ao crescimento populacional e industrial. No entanto, as situações de poluição e de escassez da água, em conjunto com a aceleração das mudanças climáticas, estão fazendo com que a disponibilidade desse recurso se torne cada vez menor (CARETTA *et al.*, 2022).

Há uma preocupação cada vez maior da indústria em aumentar sua eficiência para diminuir os impactos na natureza e no planeta como um todo. Essa necessidade vem tanto das expectativas do mercado consumidor quanto das ameaças globais das

mudanças climáticas e da perda de serviços ecossistêmicos (BATALHA-VASCONCELOS; VASCONCELOS, 2008)

Para analisar o quanto o consumo de água da empresa está sendo eficiente, a Veracel instituiu o Indicador da Gestão de Água (IGA), que determina a quantidade de água usada, em metros cúbicos, para a produção de uma tonelada de celulose, como podemos observar na Figura 9.

Figura 9 – Dados do Indicador da Gestão de Água (IGA) da Veracel em dezembro de 2020.



Fonte: elaboração nossa, a partir de dados do sistema interno da Veracel (2022).

3.4 Pesquisa

A partir das informações relatadas no item anterior, chegamos às seguintes indicações para a fase de Pesquisa.

3.4.1 Proposta

Avaliar como é realizado o uso da água no processo de produção da celulose na Veracel, com o intuito de propor medidas que aumentem a eficiência da produção, diminuindo a demanda do uso da água e, conseqüentemente, sua pegada hídrica.

3.4.2 Questão da pesquisa

O quanto a aplicação de uma metodologia para a melhoria de processos nas torres de resfriamento da fábrica da Veracel pode auxiliar na redução do consumo de água e ao mesmo tempo reduzir os custos da produção de celulose da empresa?

3.4.3 Método de pesquisa e estratégia de coleta de dados

No que diz respeito ao problema prático de melhoria dos processos industriais da empresa na relação com a economia de água, utilizamos a metodologia *Lean Six Sigma* (WERKEMA, 2012) e o processo D-M-A-I-C (traduzido do inglês, *Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar*), discutidos no capítulo de referencial teórico, para identificar, analisar, mensurar e elaborar um método de ação e controle para os modos de otimização dos procedimentos internos identificados a partir desse exercício.

3.4.3.1 Definir (D)

3.4.3.1.1 Limites

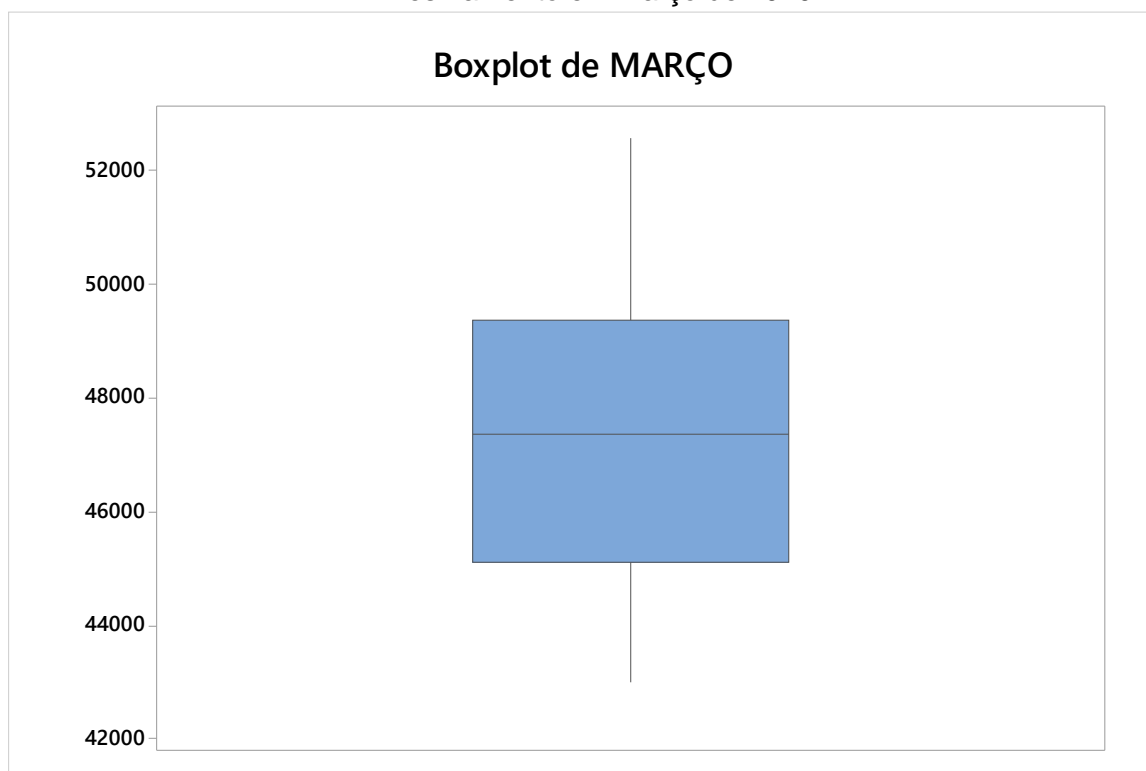
Foram definidos os limites do projeto, ou seja, o que foi incluso e o que foi excluído na hora da análise.

3.4.3.1.2 Meta

A meta de redução foi definida a partir da análise dos dados coletados, em março de 2020, pelo indicador de fluxo de água de reposição para as torres de resfriamento. A representação dos dados em boxplot mostrou que o primeiro quartil dos dados estava em aproximadamente 45.000 m³ por dia, sendo essa a meta a ser alcançada, reduzindo ao mínimo a necessidade de uso externo de água, usando apenas água de reuso.

Essa medição serviu de referência para o consumo de água antes da análise, ou seja, ela funcionou como uma linha de base (Figura 10).

Figura 10 – Dados do indicador de fluxo de água de reposição para as torres de resfriamento em março de 2020.



Fonte: elaboração nossa (2022).

Um dos indicadores utilizado para a obtenção de dados é o totalizador de fluxo encontrado no sistema PIMS, pois essa ferramenta mostra a quantidade, ou seja, o fluxo de água que está sendo inserida nas torres de resfriamento por metro cúbico por dia, o 3409-FQ-013. O PIMS ou *Plant Information Management Systems* é um sistema que adquire dados de processo de diversas fontes, armazena-os em um banco de dados históricos e disponibiliza tais informações por meio de diversas formas de representação.

3.4.3.1.3 Retorno financeiro

Para estimar o retorno financeiro do projeto, foi calculado o custo de tratamento da água, contabilizando os químicos necessários nesse processo. O valor é definido pelo custo total de tratamento do metro cúbico de água pela estimativa de economia de água por mês multiplicado por 12, que é a quantidade de meses do projeto. É necessário informar as limitações desse método, que não contempla outras variáveis de custo, como hora-trabalho e energia.

3.4.3.2 Medir (M)

O principal índice medido foi o indicador de fluxo de água de reposição para as torres, o 3409-FQ-013, como mencionado anteriormente. Quanto menor a indicação de fluxo, mais eficiente é o processo, já que a queda indica que menos água de reposição está sendo necessária.

Para analisar quais fatores interferem nesse fluxo, ou seja, suas variáveis, utilizamos os mecanismos descritos a seguir.

3.4.3.2.1 *Brainstorm*

A técnica conhecida como *Brainstorm* foi utilizada em função do seu potencial para apontar todas as variáveis que poderiam estar interferindo no processo. Trata-se de uma “tempestade de ideias”, onde se elenca tudo que é possível em relação a um projeto, sem excluir nenhuma ideia.

3.4.3.2.2 Diagrama de Ishikawa

Após a exposição de todas as ideias possíveis como variáveis do processo, foi preciso organizá-las de uma forma que permitisse a identificação de quais variáveis estavam influenciando em outras.

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama de Espinha de Peixe, é um método que pode ser usado em praticamente todas as esferas da vida, inclusive na criação de produtos, e traz as ideias coletadas de uma forma mais detalhada, com características de causas e consequências.

Tal diagramação facilita o entendimento de todas as variáveis do processo, assim como as suas possíveis causas. Sua finalidade é organizar o raciocínio na análise de um problema específico (SILVA JÚNIOR, 2022).

3.4.3.2.3 Mapa de Processo

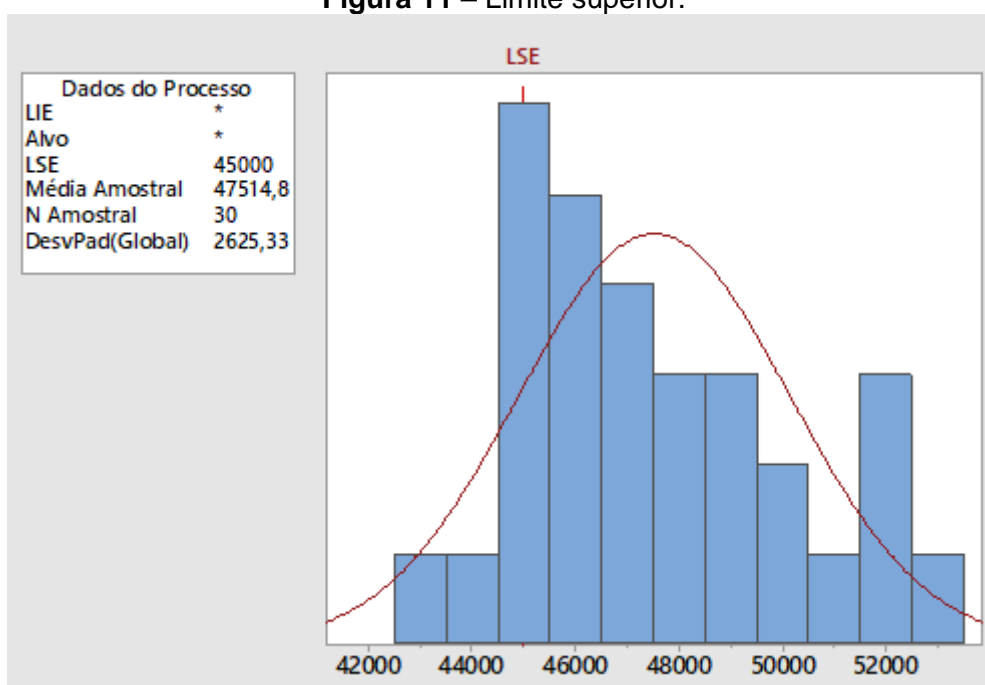
O Mapa de Processo mostra todas as informações obtidas com as variáveis que poderão ser trabalhadas, como um passo a passo. A ferramenta é basicamente um fluxograma que procura detalhar todas as etapas de determinado processo e identificar a maioria de suas entradas, indicando quais são os “X’s” que têm influência na saída “Y” (OLIVEIRA, 2005).

3.4.3.3 Analisar (A)

Na fase de análise, foram identificadas as principais causas primárias que deveriam ser atacadas para melhorar a capacidade do processo. Como já explicitado, o estudo buscou a redução do consumo de água nas torres de resfriamento. Tal consumo é dado pelo totalizador de indicação de fluxo diário. O mês inicial da pesquisa foi março de 2020, e não levamos em consideração os dias em que aconteceram problemas operacionais no setor de secagem, já que essa é uma variável que não está no nosso controle e, por esse motivo, não faz parte da pesquisa.

Todo valor acima de 45 mil m³ foi considerado como um Limite Superior. Assim, foi possível definir os dados do processo, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Limite superior.

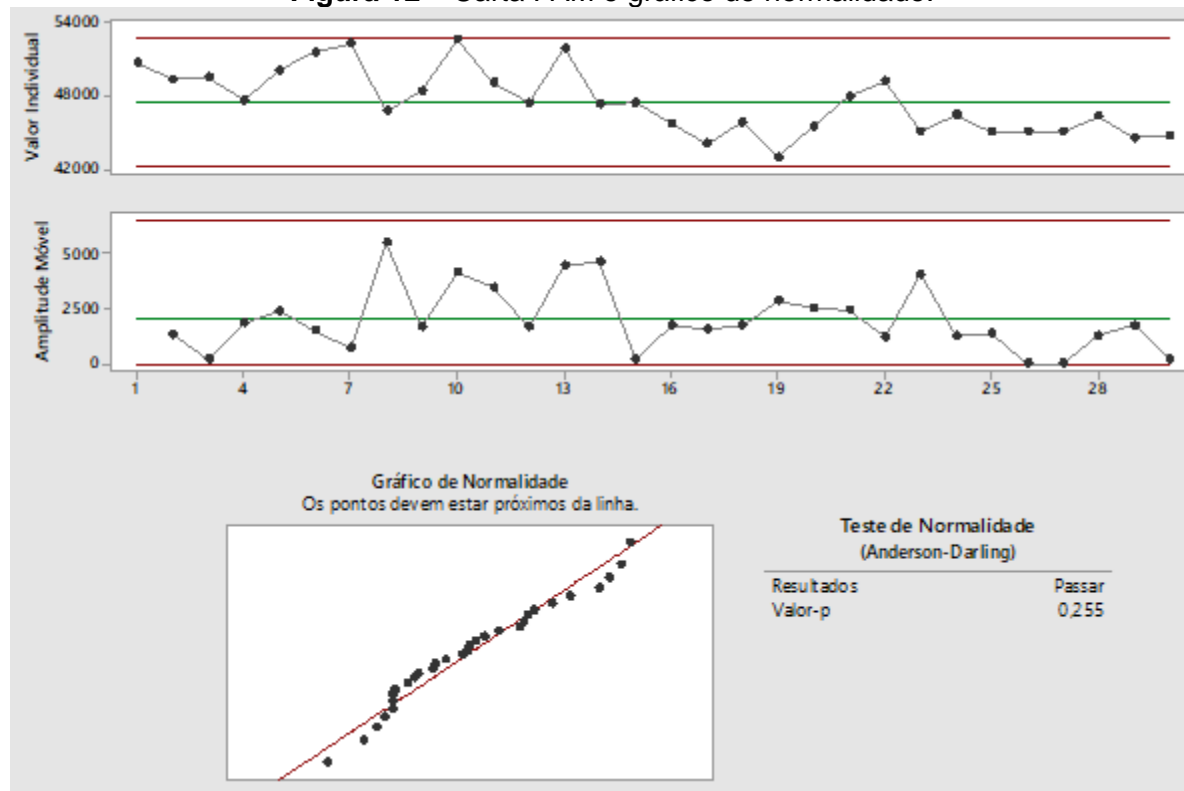


Fonte: elaboração nossa (2022).

Além disso, foi preciso a realização de uma carta de controle I-AM (Individual com Amplitudes Móveis) para assegurar a estabilidade dos dados. Tal ferramenta é utilizada para monitorar a média e a variação do processo quando se tem dados contínuos que são observações individuais e não em subgrupos. Através da análise da carta de controle de cada atividade, é possível observar estatisticamente o comportamento dos valores coletados e monitorar a estabilidade do processo ao longo do tempo (FERREIRA *et al.*, 2018; PIRANI; MENINO, 2022).

A Figura 12 mostra os dados da carta de controle I-AM e o teste de normalidade.

Figura 12 – Carta I-AM e gráfico de normalidade.



Fonte: elaboração nossa (2022).

3.4.3.4 Melhorar (I)

Esta é a fase de implantação de ações para melhorar o processo, assim como de cálculo do benefício financeiro real e da nova capacidade.

3.4.3.5 Controlar (C)

Por fim, nesta fase do projeto, foram avaliadas as ferramentas implantadas, de modo a evitar que o processo voltasse a ficar ruim.

Após a definição das variáveis que interferem no processo e a escolha do plano de ação, foi definida a padronização do processo de limpeza das telas das bacias nas torres de resfriamento. Na sequência, veio a fase de monitoramento.

O principal meio de monitoramento foi através da análise diária do indicador de fluxo de água de reposição, o 3409-FQ-013 – como dito anteriormente, trata-se de um instrumento que calcula o total do fluxo da água de reposição em metro cúbico ao

dia. Quando o FI013 ultrapassa o limite de 2000, um alarme soa no painel. O alarme está descrito na Figura 13.

Figura 13 – Alarme de vazão.



Fonte: elaboração nossa, a partir de dados internos da Veracel (2022).

3.5 Análise dos dados

Para a análise dos dados do estudo, foi utilizado o método quantitativo do software Minitab na redução de variabilidade. A metodologia busca a validação dos dados mediante a utilização de dados estatísticos. O estudo teve as seguintes etapas: escolha da aplicação a ser analisada; determinação dos limites inferiores e superiores; em parâmetros de média e amplitude; distribuição de amostras e verificação de seus pontos; análise dos problemas pelas cartas de controle; e correção de causas especiais a partir das análises amostrais fora de controle.

Para fazer uma análise estatística de uma comparação do consumo antes (mês de março) e do consumo nos meses posteriores aos melhoramentos dos processos, foi utilizada a ANOVA. Para comparar os valores de vazão entre os meses de março de 2020 (antes das ações) e março de 2021 (após o aprimoramento do processo produtivo), foi usado o teste-t. Por fim, para verificar se a variabilidade da vazão diminuiu entre os meses de março de 2020 e março de 2021, foi aplicada a estatística F, para comparação entre as variâncias.

4 RESULTADOS

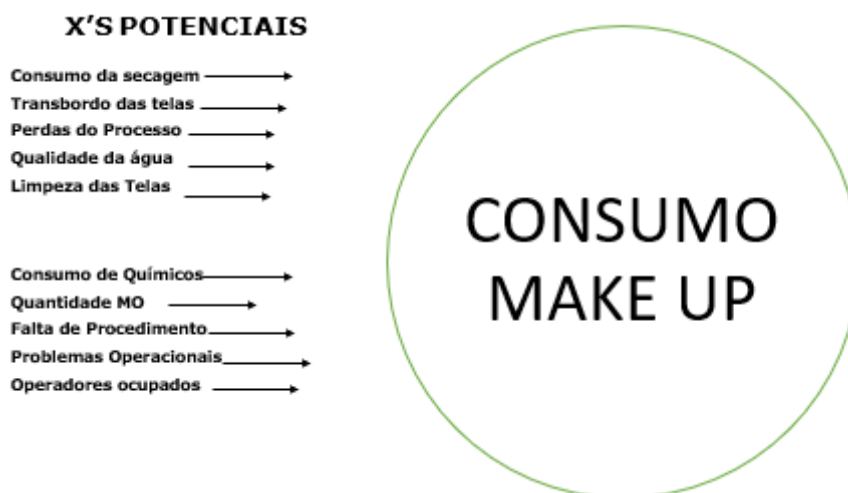
As torres de resfriamento são consumidoras da água produzida pela estação de tratamento de água (ETA) da fábrica da Veracel. Por muitas vezes, o setor das torres era informado, pela ETA, sobre seu alto consumo de água, fato que chegava a impactar nos processos da estação. Havia uma demanda grande do operador de área pela limpeza das telas e, muitas vezes, ocorria o transbordamento de água e consequente desperdício do recurso. Assim, a presente pesquisa-ação foi elaborada com o objetivo de reagir a esse problema: buscamos a melhoria do processo, pesquisando as causas já existentes e inferindo respostas com ações.

4.1 Procedimentos de medição

4.1.1 *Brainstorm*

Através da técnica de *brainstorm*, ou “tempestade de ideias”, definimos todas as variáveis que poderiam influenciar no aumento de consumo de água de *make up* para as torres de resfriamento. Tais variáveis são os nossos “X’s” potenciais, os *inputs* do processo. Essas ideias foram coletadas através de conversas informais com os atores do processo e estão representadas na Figura 14.

Figura 14 – Resultado do *brainstorm* do projeto.

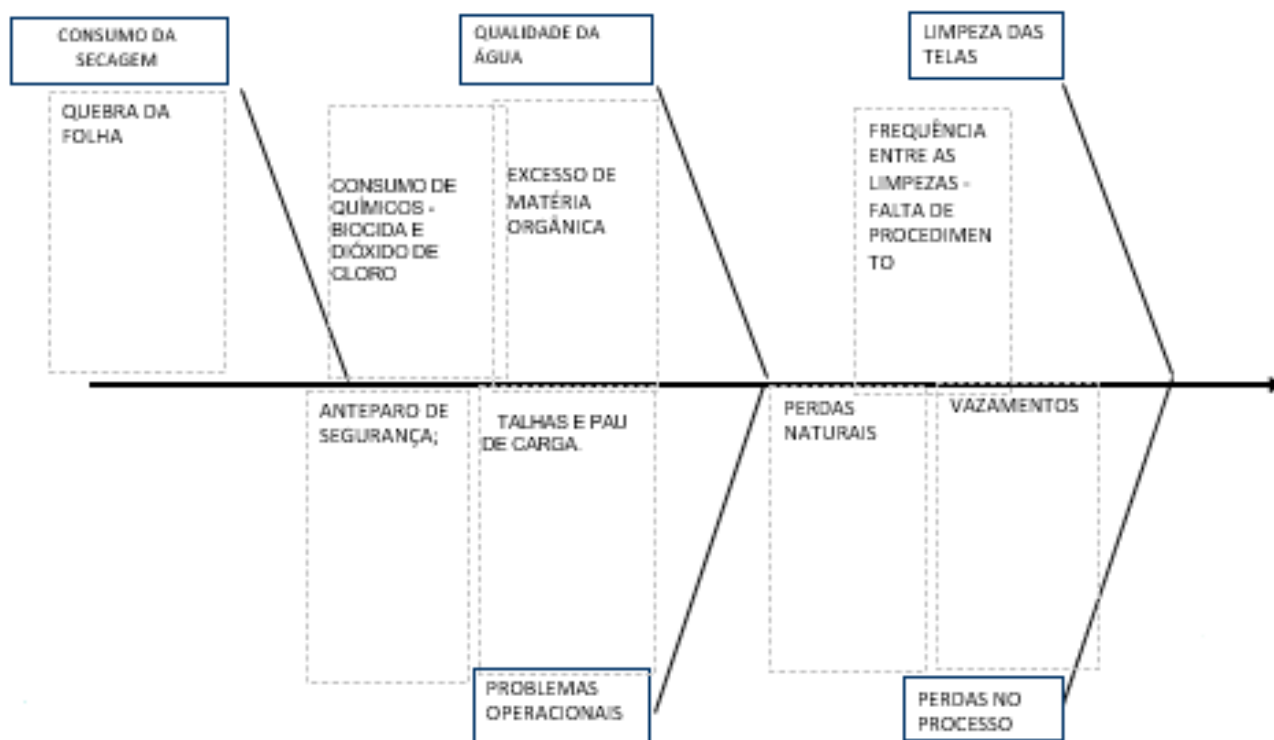


Fonte: elaboração nossa (2022).

4.1.2 Diagrama de Ishikawa

Neste momento ainda inicial de execução da pesquisa, o diagrama representava apenas as análises simplificadas do processo (Figura 15).

Figura 15 – Diagrama de Ishikawa das variáveis encontradas.



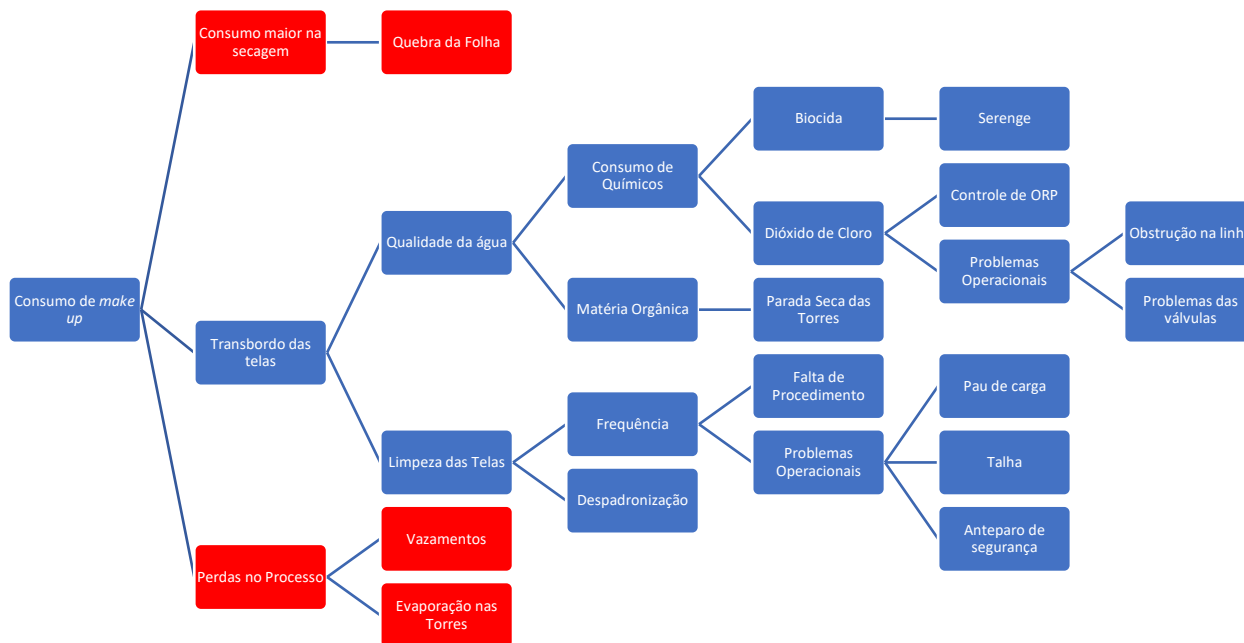
Fonte: elaboração nossa (2022).

4.1.3 Mapa de Processo

O mapa de processo apresenta as informações de forma mais aprofundada, contando com uma análise mais detalhada de cada fase. No caso do estudo apresentado, temos todas as variáveis que influenciam diretamente no consumo de *make up* das torres de resfriamento (Figura 16).

É neste momento que são definidas as variáveis que estão “dentro” e “fora” do escopo do projeto. Incluímos a qualidade da água e a limpeza das telas das bacias nas torres de resfriamento. Já os consumidores internos de água de resfriamento, os problemas no setor de secagem (como as quebras de folha), os *trips*, que são as interrupções de produção por algum problema qualquer, e as paradas de produção (programadas ou emergenciais) foram excluídas das análises.

Figura 16 – Mapa do processo com a análise das variáveis.



Fonte: elaboração nossa (2022).

Como pode ser observado, o consumo de *make up* de água de reposição nas torres é influenciado por três principais variáveis: o uso maior no setor de secagem, quando a folha de celulose quebra dentro do secador; as perdas do processo, causadas por vazamentos e pela evaporação própria das torres; e o transbordo das telas, responsável pela maior parte do consumo.

Tal transbordo, como verificado *in loco* durante a fase de medição, ocorre por conta de uma maior proliferação de matérias orgânicas nas telas. Essas matérias provocam um efeito tampão, impedindo a passagem da água pela tela. A Figura 17 mostra um exemplo desse efeito: a água fica represada no pré-tela, o que faz com que o nível dessa parte interna suba. Quando o nível fica acima de 100%, a água transborda, ocasionando sua perda.

Figura 17 – Tela suja na Veracel.



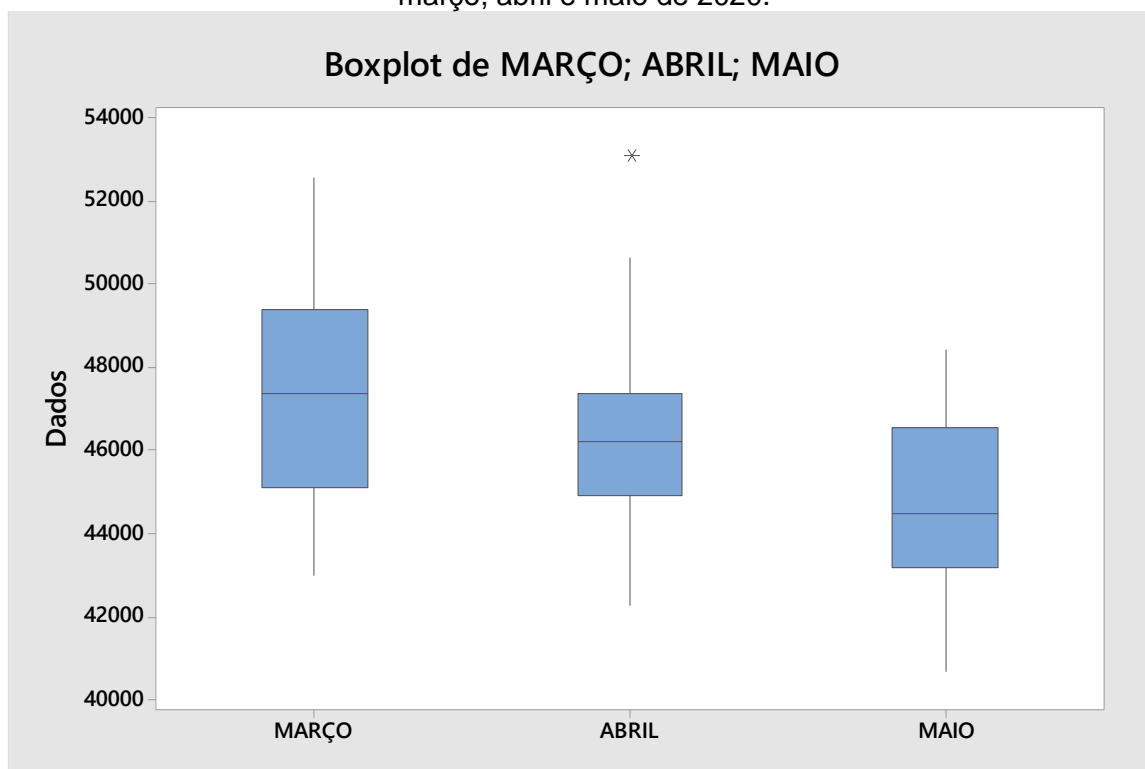
Fonte: elaboração nossa (2022).

4.2 Etapas de solução e ação do estudo

Constatamos que a proliferação de matéria orgânica nas telas é causada por outras duas variáveis: a qualidade da água e a quantidade e qualidade de limpeza desses equipamentos, por parte dos operadores de área da coordenação. Vale salientar, aqui, que as torres de resfriamento não são plantas químicas de tratamento de água na fábrica. O objetivo do setor é apenas a recirculação de água, sendo assim, há apenas um controle da matéria orgânica com o uso de biocidas e dióxido de cloro. Se acontecer algum problema na dosagem desses químicos, conseqüentemente, haverá problemas de proliferação de matéria orgânica.

A partir desses dados, gráficos como boxplot e histograma foram passíveis de análise. A Figura 18 ilustra um exemplo dos dados coletados nos três primeiros meses do projeto, na qual demonstramos uma diminuição gradativa, significativa, das médias de consumo de água de reposição ($F_{(2,86)} = 10,24$; $p < 0,01$).

Figura 18 – Comparação do consumo de água entre os primeiros meses do projeto, em março, abril e maio de 2020.



Fonte: elaboração nossa (2022).

No boxplot da Figura 18, as caixas representam o primeiro, segundo (mediana) e terceiro quartil dos três primeiros meses da pesquisa. As linhas sinalizam os valores máximos e mínimos, e o asterisco, os *outliers*, enquanto a linha no meio de cada retângulo representa a mediana coletada. É possível constatar que a média foi reduzida mês a mês, gradativamente. Essa informação foi relevante para nortear o projeto e indicar se as ações tomadas estavam dando resultado ou não.

Além dessas análises diárias pelo indicador de fluxo, foi criado um alarme no painel de controle para alertar a operação quando o consumo de água de reposição para as torres estivesse em dois mil metros cúbicos por hora. Tal medida foi importante para que a equipe fosse sinalizada da necessidade de intervenção, a fim de evitar o transbordo da tela. Trata-se de um alarme de fluxo alto, indicando que o processo precisa de atenção. Muitas vezes, por conta de outros problemas, a operação das torres de resfriamento ficava em segundo plano, e só a indicação do fluxo sem o devido alarme não era capaz de provocar uma tomada de atitude mais urgente por parte da operação.

Outro passo criado como parte da execução desta pesquisa foi a elaboração de um novo procedimento operacional para a limpeza das telas, o qual, após o

consenso de todos os colaboradores da operação, foi colocado em prática. O passo a passo dessa metodologia de trabalho está exposto a seguir.

4.3 Procedimento de limpeza das telas

Em operação normal, os operadores de área deverão realizar a limpeza das telas de acordo com as seguintes premissas:

- a) Cada turno ficará responsável pela limpeza de três telas das bacias A e B, ou mais, se for necessário. A limpeza das telas deverá ser feita da seguinte maneira:
- b) Movimentar a tela, que já se encontra limpa em *stand-by*, até a posição adequada na célula da bacia (observação: a movimentação das telas deverá ser feita com ajuda do pau-de-carga fixo em cada bacia e com sua respectiva talha, tomando-se o cuidado de ergonomia necessário para a operação);
- c) Substituir a tela suja pela tela limpa;
- d) Posicionar a tela suja no espaço adequado e efetuar sua limpeza com o auxílio de mangueira de água de cada célula, garantindo a eliminação total de resíduos que possam estar no equipamento;
- e) Repetir o procedimento até que todas as telas estejam limpas.
- f) A operação deverá sempre deixar uma tela limpa em *stand-by*;
- g) Após a limpeza, o operador de área deverá informar ao painel qual conjunto de telas passou pelo processo – se foi o interno ou o externo das bacias A e B;
- h) O operador de painel deverá registrar no IMS a informação;
- i) O turno subsequente deverá realizar a limpeza das telas do conjunto oposto àquele realizado no turno anterior.

Quanto melhor a constância de limpeza das telas, menor a quantidade de matérias orgânicas que ficam presas nelas. A Figura 19 apresenta alguns exemplos de como a limpeza das telas influencia na passagem ou não de água por elas.

Figura 19 – Comparativos entre telas sujas e limpas.



Fonte: elaboração nossa (2022).

4.4 Resultados encontrados

Também identificamos que as péssimas condições das talhas e dos paus-de-carga utilizados pela operação na limpeza das telas estavam influenciando no processo – ou seja, eram variáveis que precisavam ser consideradas na pesquisa. Foi aberta uma nota interna na empresa e realizada a manutenção de todos esses equipamentos (Figura 20).

Tal manutenção facilitou o procedimento de limpeza das telas, o que causou uma repercussão positiva por parte da operação. Com a maior facilidade de limpeza das telas, a operação não teve mais grandes dificuldades com o procedimento.

Figura 20 – Manutenção e pintura dos equipamentos de limpeza.

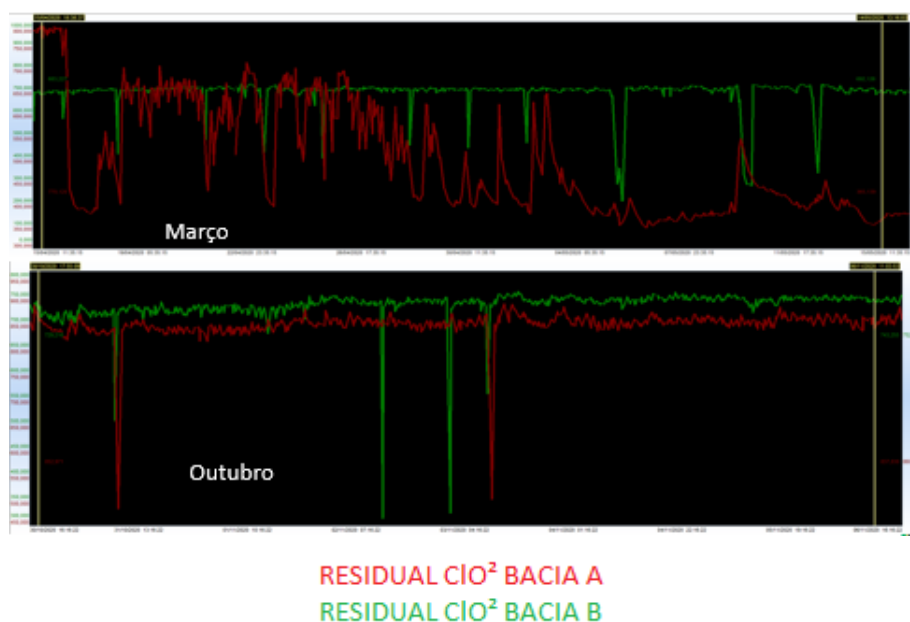


Fonte: elaboração nossa (2022).

Depois que os problemas influenciados pela parte operacional do processo foram sanados, começamos a verificar quais melhorias adicionais poderiam ser implantadas. Uma dessas variáveis estava na ineficiência da dosagem de dióxido de cloro na planta. O dióxido de cloro é utilizado como biocida e evita a proliferação de matéria orgânica. Verificamos *in loco* que as válvulas dosadoras do químico estavam com sérios desgates internos, prejudicando a sua dosagem.

Após a manutenção das válvulas, houve uma melhora significativa no ORP, índice que mede a quantidade de residual desse químico na água, como demonstra a Figura 21. Em vermelho, está o residual do dióxido na bacia A, e em verde, o da bacia B.

Figura 21 – Comparativo do residual de ClO_2 nos meses de março e outubro de 2020.

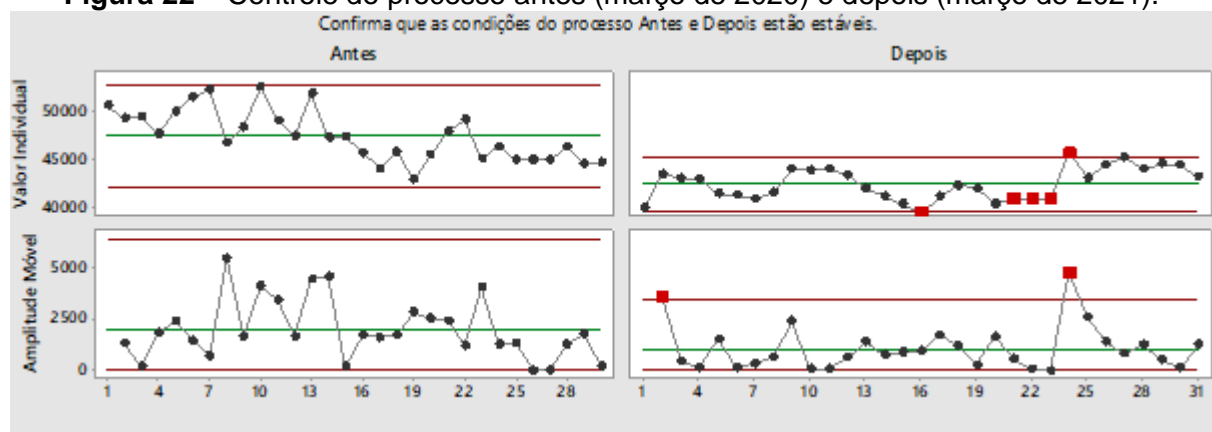


Fonte: elaboração nossa (2022).

A bacia B tem uma tendência a ser mais estável, pois é na bacia A que entra a reposição do *make up*.

Em uma comparação da capacidade de antes (março de 2020) e depois (março de 2021) em relação ao indicador de fluxo de água de reposição nas torres de resfriamento, podemos dizer que há uma certa estabilidade dos dados (Figura 22). A estabilidade é uma suposição relevante da análise de capacidade e é determinada através do exame das cartas de controle.

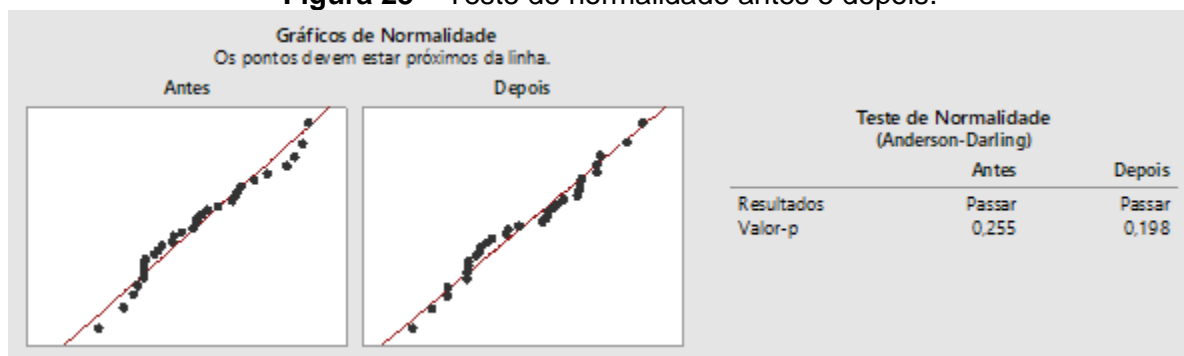
Figura 22 – Controle do processo antes (março de 2020) e depois (março de 2021).



Fonte: elaboração nossa (2022).

Com relação ao número de dados, ambos os grupos têm praticamente a mesma quantidade. Para uma análise de capacidade, isso é normalmente suficiente para capturar as diferentes fontes de variação do processo quando coletados durante um período longo o suficiente. Além disso, os dados de antes e depois foram aprovados no teste de normalidade (Figura 23).

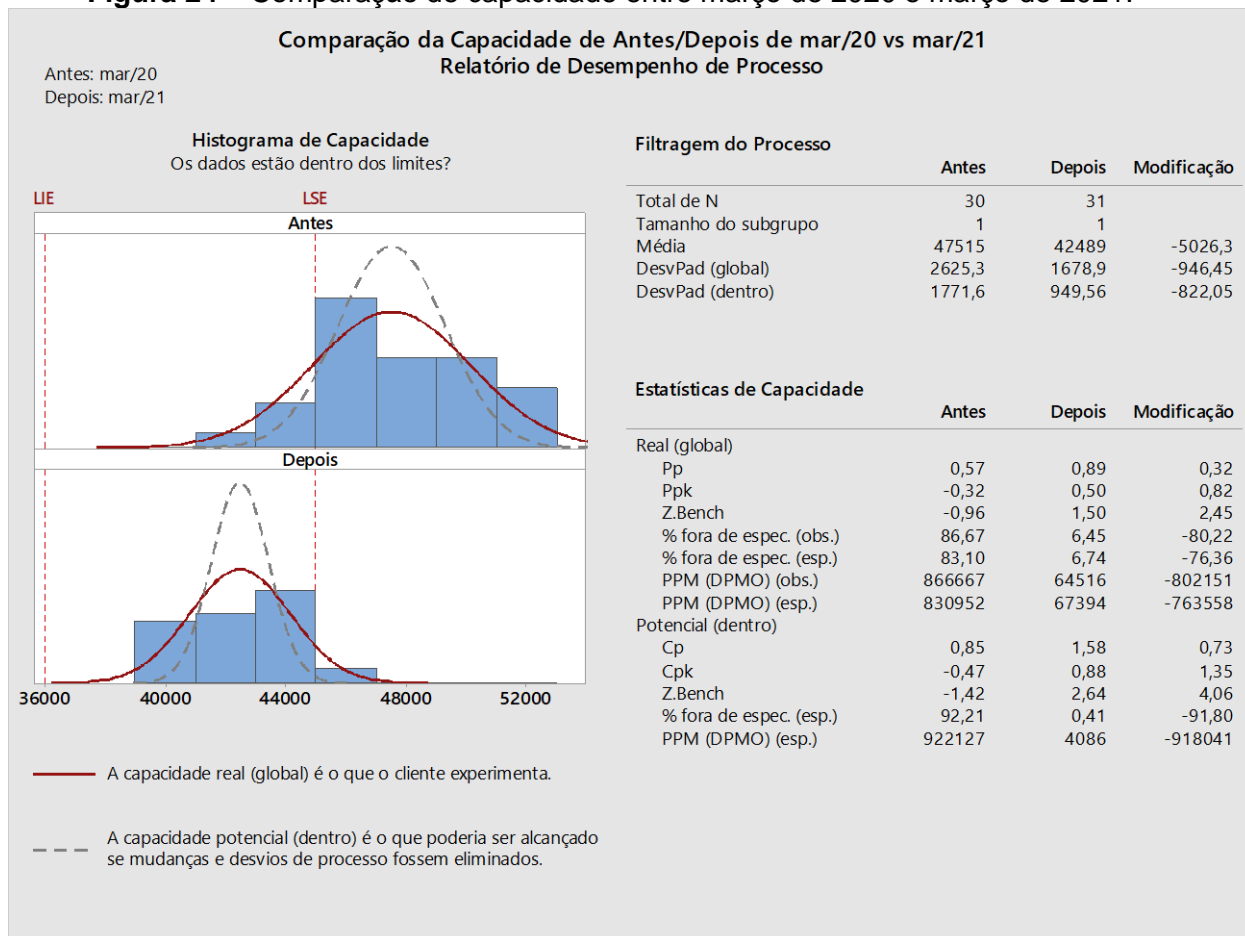
Figura 23 – Teste de normalidade antes e depois.



Fonte: elaboração nossa (2022).

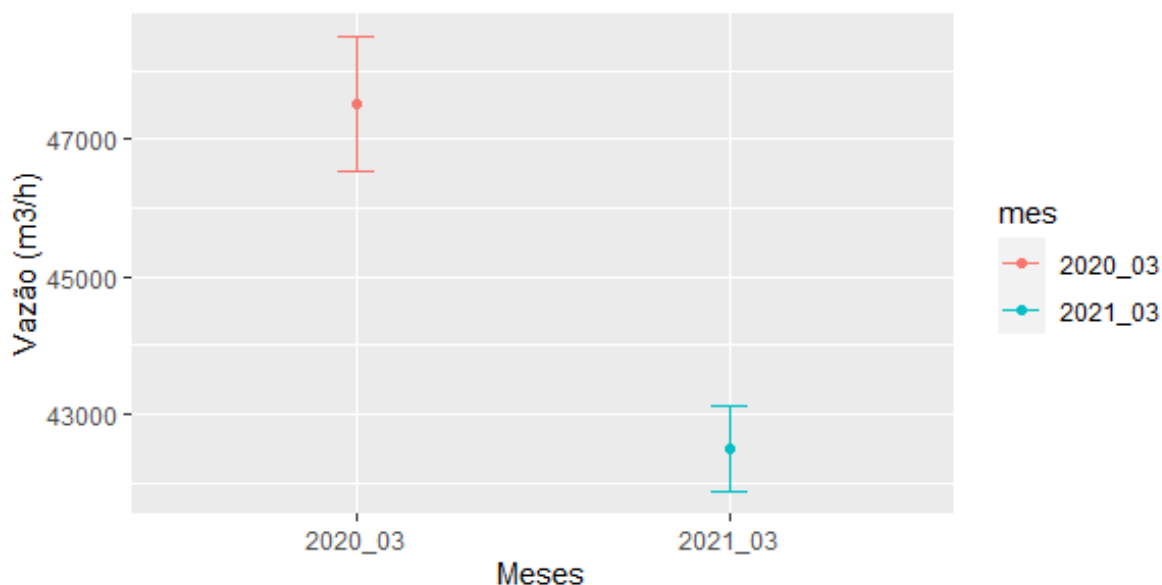
Por fim, apresentamos os gráficos comparativos da capacidade de antes e depois (Figuras 24 e 25). Na Figura 24, é possível observar que a curva do histograma de março de 2021 se deslocou para a esquerda, evidenciando uma melhora do processo. Além disso, a média teve uma diminuição de 47.515 m³ para 42.489 m³ de água de reposição, uma redução de 5.026,3 m³ na média. Houve uma redução significativa também do desvio padrão global.

Figura 24 – Comparação de capacidade entre março de 2020 e março de 2021.



Fonte: elaboração nossa (2022).

Figura 25 – ANOVA – comparação das médias de vazão entre os meses de março de 2020 e março de 2021.



Fonte: elaboração nossa (2022).

Considerando um ano de 365 dias, podemos concluir que a economia de água foi de 1.854.200 metros cúbicos. Ao multiplicar esse valor pelo custo de sua produção, chegamos a uma economia financeira de R\$370.840,00. Aqui, cabe salientar que nossa estimativa de retorno financeiro inicial era de R\$ 105.984,23, o que significa que conseguimos atingir um valor mais de três vezes maior que a expectativa.

5 DISCUSSÃO

Embora seja de suma importância nas condições operacionais do processo, a Torre de Resfriamento da Veracel é um equipamento de pouca atenção no pátio industrial, assim como dito por Lilian Mello (Mello, 2008). É possível observar, assim como a autora relatou, que raramente se direciona atenção para a Torre de Resfriamento. O trabalho realçou a importância do bom funcionamento da Torre de Resfriamento para o alcance da meta de consumo de água da fábrica.

Os resultados alcançados por esta pesquisa demonstram também que o aumento da eficiência nos processos produtivos industriais, com o controle de etapas relevantes de tais processos, diminui o consumo de água e reduz os custos operacionais, repercutindo diretamente nos ganhos ambientais e econômicos. Tal fato é corroborado por Mello que diz que a Torre de Resfriamento está associada a fatores de redução de custos operacionais e a fatores ecológicos (Mello, 2008). Este fator é confirmado por Marques que diz que conservar, reciclar e reutilizar efluentes é uma alternativa de reduzir custos operacionais (Marques, 2018).

É razoável argumentar que a redução do consumo poderia ser ainda maior caso fossem consideradas as outras etapas e setores por onde a água passa na fábrica da Veracel. Dificuldades que também são encontradas em indústrias metal-mecânica (Marques, 2018). Nesse sentido, as variáveis que foram incluídas ou excluídas do projeto foram determinadas pela relação com o escopo da função exercida pelo autor desta dissertação na fábrica da Veracel – o qual está alocado no setor das torres de resfriamento. Assim, foi possível elaborar um plano de ação para a pesquisa sem interferir no processo produtivo como um todo (algo que estava fora do alcance da posição que ocupamos na hierarquia da empresa) e sem provocar repercussões negativas em outros setores da fábrica.

Mesmo que a delimitação da pesquisa tenha decorrido majoritariamente desse fator, há dados que corroboram o foco das ações de uso eficiente de água industrial nas torres de resfriamento. Segundo o *Manual de Conservação e Reúso [sic] de Água Para a Indústria* (SAUTCHÚK *et al.*, [2011], p. 22), as torres de resfriamento costumam ser grandes consumidoras de água no processo industrial, e Mancuso (2001) ressalta que torres que operam com faixas de temperatura mais altas (como as da Veracel) demandam grandes vazões de reposição. O grau de qualidade da água para as torres de resfriamento é menos restritivo do que daquela dedicada a etapas como a geração de vapor, o que faz com que as torres de resfriamento sejam

uma das principais alternativas para o reuso de água na indústria (MANCUSO, 2001; SAUTCHÚK *et al.*, [2011]). Nesse sentido, as torres de resfriamento em sistema semiaberto utilizadas na fábrica da Veracel são ideais para o melhor reaproveitamento da água no processo (MANCUSO, 2001; TROVATI, 2004).

Ainda que o reuso de água enquanto estratégia humana intencional e planejada, por si só, seja uma prática de sustentabilidade adotada por empresas, organizações e políticas públicas (ASANO *et al.* 2007), a busca por redução no consumo e a otimização dos processos de produção são ações essenciais para alcançar os melhores resultados ambientais e econômicos e garantir os efeitos sustentáveis a longo prazo (SACHIDANANDA; WEBB; RAHIMIFARD, 2016; GIACCHETTI; AGUIAR; CÔRTEZ, 2017; MASCARENHAS; MIRRE; YOKOYAMA, 2021).

A pesquisa-ação aqui implementada teve como foco a redução de perdas e desperdícios no uso da água nos processos industriais realizados por meio das torres de resfriamento da fábrica da Veracel. Dito de outra forma, o estudo lidou com algumas falhas processuais identificadas no setor através da aplicação da metodologia *Lean Six Sigma*, cujos resultados demonstram uma redução no consumo de água em função da otimização dos processos operacionais relativos à limpeza das telas das bacias e à manutenção de equipamentos do setor – inclusive das válvulas internas do sistema de dosagem de dióxido de cloro, biocida utilizado para o controle de qualidade da água do setor. Tais achados são condizentes com aqueles indicados em estudos e materiais como os de Mancuso (2001), Trovati (2004), Oliveira (2005), Carvalho e Machado (2010), Silva e Carvalho (c2008-2022), Marques (2018) e Motta (2021), conforme relatamos a seguir.

A formação de *slime*, ou seja, “o desenvolvimento de microorganismos e formação de depósitos de origem orgânica” (SILVA; CARVALHO, c2008-2022), está entre os principais problemas identificados em sistemas de resfriamento (MANCUSO, 2001; TROVATI, 2004; SILVA; CARVALHO, c2008-2022; MOTTA, 2021). Em artigo publicado no site da empresa Termoparts [20--], são listadas as causas mais frequentes de perdas de água em torres de resfriamento, as quais incluem as perdas por purga e drenagem e por baixa eficiência, dois dos cenários constatados no estudo de caso da Veracel. Sobre as perdas por purga e drenagem, o texto enfatiza o cuidado com os procedimentos de qualidade da água.

A redução das partículas sólidas indesejadas na água normalmente é feita através de um processo automático, mas também pode ser realizada manualmente, e, dependendo da qualidade da água e do processo contaminante, ela pode provocar uma perda bastante significativa se não for realizada com critérios técnicos adequados. (TERMOPARTS, [20--]).

No caso das torres de resfriamento da Veracel, o responsável pelo entupimento das telas é o *slime*. Como já mencionado, ele é causado por microorganismos na água, e seu surgimento decorre de problemas no tratamento do líquido no setor. No nosso caso, identificamos uma dificuldade na regulação da dosagem do dióxido de cloro, em decorrência de problemas nas válvulas de entrada do biocida.

Segundo Motta (2021), o dióxido de cloro age na matéria orgânica que é formada pela oxidação do composto de cloro, gerando ácido hipocloroso (HClO). Sua aplicação oxida matéria orgânica, amônia, aminoácidos, proteínas, ferro, manganês, enxofre, cianetos etc. É somente aplicável em água com pH superior a 8,5, devido à dissociação do composto em água (MOTTA, 2021). Quando melhoramos a dosagem do dióxido e intensificamos a limpeza das telas nas torres de resfriamento da Veracel, o acúmulo de *slime* foi bastante reduzido.

Além do tratamento químico, é necessário o monitoramento contínuo de certos parâmetros da água de resfriamento para garantir a boa performance do sistema. De acordo com Motta (2021), é importante conhecer o tipo de sistema de resfriamento presente na indústria, pois isso interfere na qualidade da água utilizada: quando há recirculação contínua (como é o caso das torres de resfriamento da Veracel), a preocupação com a presença de contaminantes e outros fatores que favorecem a incrustação e a corrosão é ainda maior do que nos sistemas em que a água passa apenas uma vez. Nossa pesquisa-ação também atuou nesse sentido, ao ampliar e aprimorar o monitoramento da quantidade e da qualidade da água de reposição do setor, bem como ao implementar procedimentos operacionais de limpeza padronizados.

O tratamento adequado da água de resfriamento também ajuda a evitar prejuízos no processo. Problemas como o uso de água de qualidade inadequada e a formação de corrosão, incrustação e *slime* nas tubulações e nos trocadores de calor da unidade podem gerar a necessidade de parada para manutenção dos equipamentos ou mesmo da planta como um todo (SILVA; CARVALHO, c2008-2022).

Além das perdas naturais previstas no processo, a torre de resfriamento da Veracel estava tendo prejuízos devido a transbordos de suas telas de limpeza. Tal fato ampliava muito a quantidade de água de reposição demandada para a torre. Não havia nenhum controle, alarme e/ou índice de trabalho sobre esse dado no setor antes da implementação da pesquisa relatada nesta dissertação.

Nesse sentido, o estudo corrobora os achados de Oliveira (2005) sobre a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* para a redução de perdas de produção em um dos setores de uma empresa produtora de celulose localizada no estado de São Paulo. Segundo o relato de Oliveira (2005), a redução de perdas conquistada pela implantação do modelo resultou em um aumento da produtividade e promoveu estabilidade operacional no setor, o que, por sua vez, proporcionou diminuição no consumo de insumos produtivos, melhoria da qualidade do produto e aumento dos ganhos financeiros.

A metodologia *Lean Six Sigma* mostra-se, portanto, promissora para a otimização e o aumento da eficiência dos processos industriais, cujos resultados abrangem a redução tanto no consumo de recursos (ganhos ambientais) quanto nos custos operacionais (ganhos financeiros). Por mais que tenhamos lidado com apenas uma parte do “trajeto” da água na fábrica (ao focar no setor das torres de resfriamento), a comparação da capacidade de antes e depois, de março de 2020 para março de 2021, indica que houve uma redução de 92% do valor de fora da meta de especificação, cuja média foi superior a 45 mil m³ por dia.

Em março de 2020, havia 83,09% dos dados fora da média; já em março de 2021, esse número caiu para 6,27%. Antes da aplicação do projeto, a média dos dados coletados registrou 47.515 m³ por dia; após o projeto, a média caiu para 42.435 m³ por dia, uma redução de 5.080 m³/dia. Já no desvio padrão, houve uma redução de 2.625,3 para 1.673,5 após o projeto, uma modificação de -951,79. Dito de outra forma, tanto o desvio padrão quanto a média foram significativamente reduzidos.

Os dados encontrados evidenciam a pegada sustentável da nossa contribuição aos estudos e práticas da área e comprovam que a busca por sustentabilidade na melhoria dos processos industriais também pode ter repercussões positivas para os resultados financeiros das empresas. Levando em consideração o custo de R\$0,20 por metro cúbico da água tratada pela Veracel e a redução do consumo de água de reposição nas torres de resfriamento em 5.080 m³ por dia, fomos capazes de calcular o valor real do retorno financeiro do projeto.

A aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* na redução do consumo de água em processos industriais tem o potencial de ser adotada por outros setores da Veracel e mesmo por outras empresas da indústria do papel e da celulose, com ganhos em termos de sustentabilidade e eficiência econômica. Considerando que a fábrica da Veracel teve os menores índices de consumo anual de água entre as maiores do setor de celulose no Brasil em 2020 (como demonstramos na Tabela 1, no capítulo dedicado ao referencial teórico), podemos supor que os processos das outras empresas mencionadas, por exemplo, apresentam uma eficiência menor em seus resultados.

Quando se fala sobre mudanças no setor produtivo industrial, frequentemente existe uma precaução sobre os impactos dessas mudanças no produto final. Muitas vezes, há uma premissa de que tais mudanças impactarão negativamente na produção, afetando o lucro dos investidores (MARQUES, 2018). É importante frisar que a otimização de processos industriais busca a redução do desperdício e, conseqüentemente, um retorno financeiro (FLEURY; FLEURY, 2003).

Tal fato também repercute diretamente no meio ambiente, pois a maior parte das indústrias produz sob efeito cascata, ou seja, a redução do consumo de um recurso natural desencadeia outros benefícios, sejam eles ambientais, sejam financeiros (MARQUES; 2018; MOTTA, 2021). Além disso, a água economizada pela indústria pode ser usada para outros fins, beneficiando diversos setores da sociedade – como sugere o estudo de Carvalho e Machado (2010) sobre o reuso de água em torres de resfriamento no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, que demonstrou a viabilidade da redução de captação de água superficial em até 33 mil m³ por mês.

A água economizada pela Veracel pode ser utilizada para outros fins e reduzir as externalidades negativas na biota aquática do entorno. Situada às margens do rio Jequitinhonha, cuja foz é localizada na cidade de Belmonte, a Veracel é a maior indústria da região e impacta diretamente onze municípios do extremo sul baiano. O Jequitinhonha é responsável pelo abastecimento de água desses municípios, além de garanti-la para o setor agro-silvo-pastoril. Comunidades ribeirinhas ainda se encontram às margens do Jequitinhonha e tiram dele o seu sustento. Uma maior economia de água proporcionada pela Veracel aumenta efetivamente a segurança hídrica das comunidades locais.

A grande questão que se apresenta é: como incentivar os gestores industriais a buscar a otimização pensando na sustentabilidade da empresa? Será que apenas

o benefício ambiental é capaz de influenciar alguma mudança no setor? Se a empresa já produz dentro dos limites estabelecidos para o meio ambiente, por que ela deve mudar seu processo produtivo?

Os resultados da nossa pesquisa demonstram que existem alternativas viáveis para a redução do consumo de água na indústria da celulose brasileira, inclusive com o adicional de retorno financeiro para as empresas. A implementação de metodologias como a utilizada neste trabalho (ou outras similares) mostra que, apenas com melhorias operacionais, sem novos investimentos, é possível garantir a diminuição no consumo e nos custos de forma substancial. Some-se a isso o fato de que as empresas têm uma responsabilidade social com o seu entorno e devem se preocupar com as externalidades negativas decorrentes de sua ação. Assim, a adoção de medidas para reduzir o impacto no meio ambiente também agrega benefícios para a reputação desses empreendimentos junto aos consumidores finais e às comunidades diretamente afetadas por seus processos (THOMAS, 2021).

6 CONCLUSÕES

Por meio da análise, conseguimos identificar que uma das principais variáveis no *make up* da água de reposição das torres de resfriamento era o transbordo das telas, que resultava em uma grande quantidade de água desperdiçada. A adoção de um conjunto de práticas e procedimentos durante o período de um ano, entre março de 2020 e março de 2021, especialmente de um protocolo para a limpeza das telas no setor, teve repercussões positivas nos processos industriais da empresa e diminuiu significativamente o consumo de água da fábrica.

Os resultados da pesquisa mostram que a média teve uma diminuição de 47.515 m³ para 42.489 m³ de água de reposição, uma redução de 5.026,3 m³ na média. Nossa expectativa era de atingir um retorno econômico de cerca de 105 mil reais anuais para a Veracel. No entanto, o uso mais eficiente da água no período da pesquisa (e em função de suas intervenções) correspondeu a uma economia de R\$370.840,00 para a empresa.

Estes ganhos vão além dos ambientais e financeiros. A preservação dos recursos finitos, redução da poluição das águas e a conscientização ambiental da sociedade envolvida trazem resultados significativos com relação a viabilidade técnico-econômica do projeto (Marques, 2018).

O sistema D-M-A-I-C do *Lean Six Sigma* é uma excelente ferramenta para se buscar essa otimização sem um grande aporte financeiro. A premissa de se ter um retorno financeiro é a grande contribuição dessa metodologia. Além disso, mostrar que essa otimização trouxe benefícios ambientais para a empresa tem o potencial de representar uma mudança da imagem da companhia perante o mercado e a sociedade. Antes vistas como grandes vilãs ambientais, as indústrias agora precisam mudar suas imagens, e isso não precisa significar, necessariamente, uma redução de produção, como demonstramos nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADU, Philip. **Planning on action research**: examining action research characteristics, process, and components. [Chicago], 2016. Apresentação do Power Point. Disponível em: <https://www.slideshare.net/kontorphilip/planning-an-action-research>. Acesso em: 8 maio 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=134951&tipo_midia=2&indexSrv=1&iUsuario=0&obra=78093&tipo=1&iBanner=0&idioma=0. Acesso em: 8 maio 2022.

ASANO, Takashi; BURTON, Franklin L.; LEVERENZ, Harold L.; TSUCHIHASHI, Ryujiro; TCHOBANOGLIOUS, George. **Water reuse**: issues, technologies, and applications. Boston: Metcalf & Eddy; Nova York: McGraw Hill, 2007.

AVILA, Gilberto Jesus; PAIVA, Ely Laureano. Processos operacionais e resultados de empresas brasileiras após a certificação ambiental ISO 14001. **Gestão & Produção**, São Carlos, SP, v. 13, n. 3, p. 475-487, set./dez. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2006000300010>. Acesso em: 8 maio 2022.

BATALHA-VASCONCELOS, Denise Labate; VASCONCELOS, Ricardo Laurentino. Sustainability and the real estate market: marketing or essential tool = Sustentabilidade: ferramenta de marketing ou instrumento essencial. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA LARES, VIII, 2008, São Paulo. [Anais]. São Paulo: Latin American Real Estate Society (LARES), 2008. Disponível em: <https://lares.architexturez.net/doc/oai-lares-id-lares-2008-artigo022-batalha-vasconcelos-rev-2>. Acesso em: 8 maio 2022.

BAYEUX, Carlos. Análise da capacidade de processos (Parte I). **Revista Banas Qualidade**, São Paulo, n. 108, p. 57-60, maio 2001. Disponível em: <https://www.qsp.org.br/biblioteca/pdf/analise.pdf>. Acesso em: 8 maio 2022.

BRACELL. **Relatório de sustentabilidade 2020**. [São Paulo]: Bracell, 2020. Disponível em: <https://www.bracell.com/sustentabilidade/relatorios-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 8 maio 2022.

CARETTA, Martina Angela; MUKHERJI, Aditi; ARFANUZZAMAN, Md; BETTS, Richard A.; GELFAN, Alexander; HIRABAYASHI, Yukiko; LISSNER, Tabea Katharina; GUNN, Elena Lopez; LIU, Junguo; MORGAN, Ruth; MWANGA, Sixbert; SUPRATID, Serre. *Water*. *In*: PÖRTNER, Hans-Otto; ROBERTS, Debra C.; TIGNOR, Melinda M. B.; POLOCZANSKA, Elvira; MINTENBECK, Katja; ALEGRÍA, Andrés; CRAIG, Marlies; LANGSDORF, Stefanie; LÖSCHKE, Sina; MÖLLER, Vincent; OKEM, Andrew; RAMA, Bardhyl (ed.). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf. Acesso em: 8 maio 2022.

CARVALHAES, Elizabeth de. O papel do Brasil na crise hídrica mundial. **O Papel**, São Paulo, ano 79, n. 4, p. 44, abr. 2018. Disponível em: <https://www.sinpacel.org.br/informativos/2018/707/o-papel-do-brasil-na-crise-hidrica-mundial.pdf>. Acesso em: 8 maio 2022.

CARVALHO, Denize Dias de; MACHADO, Bernardo José Farah. Reuso de efluentes em torres de resfriamento – estudo conceitual: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 295-302, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269566789_Reuso_de_efluentes_em_torres_de_resfriamento_-_estudo_conceitual_Aeroporto_Internacional_do_Rio_de_Janeiro. Acesso em: 8 maio 2022.

CENIBRA. **Relatório de sustentabilidade 2020**. [Belo Oriente]: CENIBRA, 2020. Disponível em: https://www.cenibra.com.br/wp-content/uploads/2021/06/RS_2020_PORT-3.pdf. Acesso em: 8 maio 2022.

CIDIN, Renata da Costa Pereira Jannes; SILVA, Ricardo Siloto da. Pegada ecológica: instrumento de avaliação dos impactos antrópicos no meio natural. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, Rio Claro, SP, v. 2, n. 1, p. 43-52, 2004. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/257>. Acesso em: 8 maio 2022.

CRAIG, Dorothy Valcarcel. **Action research essentials**. San Francisco: Jossey-Bass, 2009.

EDEN, Colin; HUXHAM, Chris. Action research for management research. **British Journal of Management**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 75-86, 1996. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-8551.1996.tb00107.x>. Acesso em: 8 maio 2022.

ELDORADO BRASIL. **Relatório de sustentabilidade 2020**. Três Lagoas: Eldorado Brasil, 2020. Disponível em: <https://eldoradobrasil.com.br/img/eldorado-brasil-relatorio-sustentabilidade-2020.pdf>. Acesso em: 8 maio 2022.

FLEURY, Afonso C.C.; FLEURY, Maria Tereza Leme. Estratégias competitivas e competências essenciais: perspectivas para a internacionalização da indústria no Brasil. **Gestão & Produção**, São Carlos, SP, v. 10, n. 2, p. 129-144, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2003000200002>. Acesso em: 8 maio 2022.

FERREIRA, Vitor; CABRAL, Eric Lucas dos Santos; PEDROSA, Felipe; CASTRO, Wilkson; SOUZA, Ricardo Pires de. Aplicação da carta de controle I-AM para estudo de capacidade em uma organização do setor de catering aéreo. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, XXXVIII, 2018, Maceió. **Anais Eletrônicos** [...]. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), 2018. Disponível em:

http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_WIC_259_487_36148.pdf. Acesso em: 8 maio 2022.

GIACCHETTI, Marcelo Cruz Martins; AGUIAR, Alexandre de Oliveira; CÔRTEZ, Pedro Luiz. Consumo de água em indústrias: enfrentando a escassez. **Revista ESPACIOS**, Caracas, v. 38, n. 22, 2017. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n22/a17v38n21p21.pdf>. Acesso em: 8 maio 2022.

HOEKSTRA, Arjen Y.; MEKONNEN, Mesfin M. The water footprint of humanity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)**, [s. l.], v. 109, n. 9, p. 3232-3237, Feb. 2012. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1109936109>. Acesso em: 8 maio 2022.

KLABIN. **Relatório de sustentabilidade**: como nos saímos em 2020. [São Paulo]: Klabin, 2020. Disponível em: https://klabin.com.br/documents/400373575/0/klabin-RS20-PT_web.pdf/99b929c4-b187-c0dd-ea35-798c5233cbba?t=1628017383350. Acesso em: 8 maio 2022.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. **Reúso de água para torres de resfriamento**. São Paulo: [FSP/USP], 2001. Disponível em: <http://colecoes.sibi.usp.br/fsp/files/original/952afb74da1f8655a67bbedbbb0dac3.pdf>. Acesso em: 8 maio 2022.

MARQUES, Marcela Grandinetti. **Avaliação técnico-econômica do reuso de efluentes em indústria metal-mecânica**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade do Sagrado Coração, Bauru, 2018. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/USC_7567fec629a6b15b71dba94da1473b51. Acesso em: 8 maio 2022.

MASCARENHAS, Thamiris Dias Silva; MIRRE, Reinaldo Coelho; YOKOYAMA, Lídia. Application of an integrated methodology for the synthesis of water networks and wastewater treatment in the pulp and paper industry = Aplicação de uma metodologia integrada para síntese de redes de água e tratamento de efluentes na indústria de papel e celulose. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 9, p. 93351-93357, 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/36539/pdf>. Acesso em: 8 maio 2022.

MATOS, Pedro. **ESG and responsible institutional investing around the world: a critical review**. [Charlottesville]: CFA Institute Research Foundation, 2020. Disponível em: <https://www.cfainstitute.org/-/media/documents/book/rf-lit-review/2020/rflr-esg-and-responsible-institutional-investing.pdf>. Acesso em: 8 maio 2022.

MELLO, Lilian Cardoso de. **Influência de variáveis de processo do desempenho de torre de resfriamento**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-07112008->

140442/publico/DISSERTACAO_INFLUENCIA_DAS_VARIAVEIS_DE_PROCESSO_NO_DESEMPENHO_DE_TORRE_DE_RESFRIAMENTO.pdf. Acesso em: 8 maio 2022.

MENELAU, Sueli; SANTOS, Patrick Michel Finazzi; CASTRO, Breno Giovanni Aдай; NASCIMENTO, Thiago Gomes. Realizar pesquisa sem ação ou pesquisa-ação na área de Administração? Uma reflexão metodológica. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 50, n. 1, p. 40-55, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5700/rausp1183>. Acesso em: 8 maio 2022.

MOTTA, Marcelle Barbosa. **Estudo de caso do reuso de água como uma alternativa à escassez hídrica em uma indústria petroquímica**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/24609>. Acesso em: 8 maio 2022.

OLIVEIRA, Marcelo de. **Seis Sigma**: um processo estruturado para busca da estabilidade operacional pela redução das perdas de produção. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão da Produção) – Departamento de Produção, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2005.

PEDDE, Simona; KROEZE, Carolien; RODRIGUES, Lineu N. Escassez hídrica na América do sul: situação atual e perspectivas futuras. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XX, 2013, Bento Gonçalves. **Anais** [...]. Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro), 2013. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/2b3ce7fbc0460aca21ec7b5bd3baadda_3a8640687ad8b6f29957a954a952af47.pdf. Acesso em: 8 maio 2022.

PERFIL DA INDÚSTRIA BRASILEIRA. **Indústria Total**. [S.l.]: 2022. Disponível em: <https://industriabrasileira.portaldaindustria.com.br/#/industria-total>. Acesso em: 8 maio 2022.

PIRANI, Sergio Luiz; MENINO, Rafael da Silva. Análise dos processos do serviço de atendimento ao cliente (sac) através da metodologia lean six sigma: um estudo de caso. **Caderno Progressus**, Curitiba, v. 2, n. 3, p. 21-35, 2022. Disponível em: <https://www.cadernosuninter.com/index.php/progressus/article/view/1973>. Acesso em: 8 maio 2022.

SACHIDANANDA, Madhu; WEBB, D. Patrick; RAHIMIFARD, Shahin. A concept of water usage efficiency to support water reduction in manufacturing industry. **Sustainability**, [Basel], v. 8, n. 12, 1222, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/12/1222>. Acesso em: 8 maio 2022.

SAUTCHÚK, Carla Araújo; LANDI, Fernando Del Nero; MIERZWA, José Carlos; VIVACQUA, Maria Carolina Rivoir; SILVA, Maurício Costa Cabral da; LANDI, Paula Del Nero; SCHMIDT, William. **Conservação e reúso de água**: manual de orientações para o setor industrial. São Paulo: Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp/Ciesp), v. 1, [2011]. Disponível em:

<http://www.ciesp.com.br/pesquisas/conservacao-e-reuso-de-agua-manual-de-orientacoes-para-o-setor-industrial/>. Acesso em: 8 maio 2022.

SILVA, Diego de Oliveira e; CARVALHO, Antonio R. P. Tratamento de água de resfriamento. **Kurita**, [Artur Nogueira], c2008-2022. Disponível em: <https://kurita.com.br/index.php/artigos-tecnicos/tratamento-de-agua-de-resfriamento/>. Acesso em: 8 maio 2022.

SILVA, Vicente de P.R. da; ALEIXO, Danilo de O.; DANTAS NETO, José; MARACAJÁ, Kettrin F. B.; ARAÚJO, Lincoln E. de. Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 100-105, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100014>. Acesso em: 8 maio 2022.

SILVA JÚNIOR, Sérgio Ferreira. **Design thinking aplicado ao hardware: sistema de impressão em pool**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências e Tecnologia com Ênfase em Negócios Tecnológicos) – Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/46435>. Acesso em: 8 maio 2022.

TERMOPARTS. Conceitos sobre perda de água em torres de resfriamento. **Termoparts**, Itu, [20--]. Disponível em: <https://www.termoparts.com.br/artigos/conceitos-sobre-perda-de-agua-em-torres-de-resfriamento/>. Acesso em: 8 maio. 2022.

THOMAS, Jennifer Ann. Consumidor está mais preocupado com sustentabilidade, mostra estudo da IBM. **Veja**, [São Paulo], 8 set. 2021. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/agenda-verde/consumidor-esta-mais-preocupado-com-sustentabilidade-mostra-estudo-da-ibm/>. Acesso em: 8 maio 2022.

TROVATI, Joubert. **Curso tratamento de água de resfriamento**. [S. l.: s. n.], 2004. Disponível em: https://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf. Acesso em: 8 maio 2022.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change**. Paris: UNESCO, 2020. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985.locale=en>. Acesso em: 8 maio 2022.

VERACEL. **Relatório de sustentabilidade 2020**. Eunápolis: Veracel, 2020. Disponível em: <https://www.veracel.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Relatorio-Sustentabilidade-2020-Portugues-1.pdf>. Acesso em: 8 maio 2022.

WERKEMA, Cristina. **Criando a cultura Lean Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

APÊNDICE A – VERACEL CELULOSE

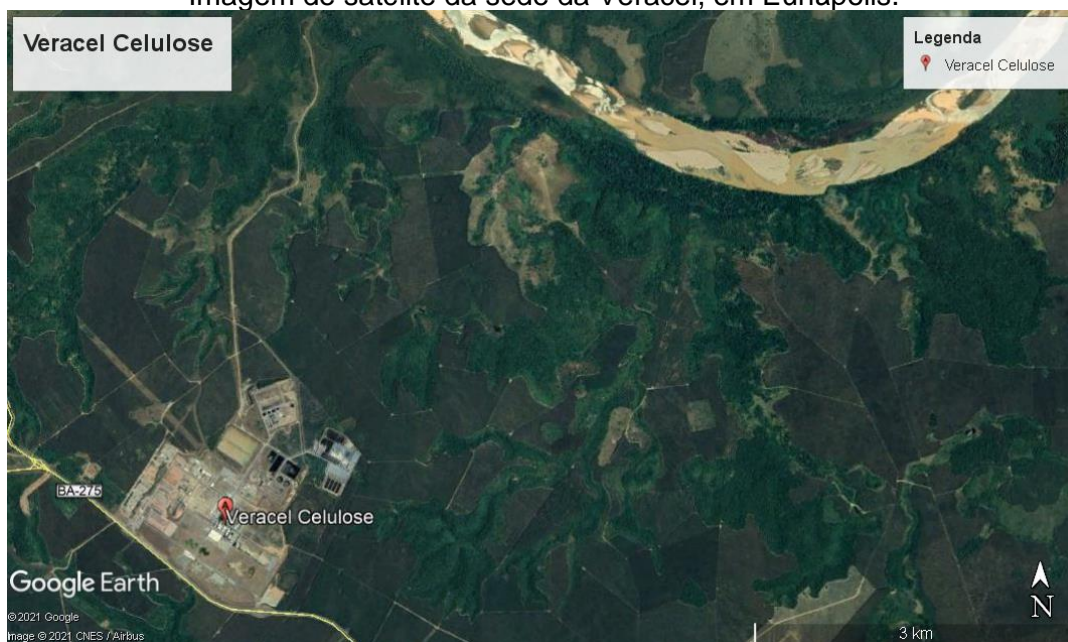
A Veracel Celulose S.A. é uma empresa da indústria do papel e da celulose, cujas atividades tiveram início em 1991, com a pesquisa, o cultivo e o plantio das primeiras mudas de eucalipto na região do extremo sul do estado da Bahia. Sediada no município de Eunápolis, a companhia é uma *joint venture* entre a brasileira Suzano Celulose S.A. e a sueco-finlandesa Stora Enso e abriga operações industriais, florestais e de logística no ramo agroindustrial em onze municípios do sul baiano – na região também chamada de Costa do Descobrimento.

Em 1998, a empresa criou a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Estação Veracel, nos municípios de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália, que representa a maior reserva particular de Mata Atlântica do Nordeste do Brasil e é reconhecida como Sítio do Patrimônio Mundial Natural pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO).

É na cidade baiana que se encontra o Terminal Marítimo de Belmonte (TMB), criado em 2003 e responsável pelo transporte da celulose produzida na fábrica até o Porto de Tubarão, no Espírito Santo, por meio do uso de balsas.

Enfim, a fábrica da Veracel foi inaugurada em 2005, em Eunápolis, perto do rio Jequitinhonha. A figura mostra um registro de satélite da sede da empresa e parte do rio Jequitinhonha no canto superior direito da imagem.

Imagem de satélite da sede da Veracel, em Eunápolis.



Fonte: captura de tela nossa do site Google Earth (2021).

Segundo o Relatório de Sustentabilidade da empresa de 2021, a área de influência abrange 143 comunidades em 45 áreas; destas, 32 são de comunidades nativas. Os onze municípios de atuação são: Porto Seguro, Itabela, Guaratinga, Eunápolis, Itagimirim, Itapebi, Potiraguá, Mascote, Canavieiras, Belmonte e Santa Cruz Cabrália.

Segundo os últimos dados do IBGE, a população total desses municípios é de 400.133 habitantes, com área de 15.306 km² e receita total de R\$ 1.090.186,55. A média do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,615, e a média do Índice Gini dos municípios é de 0,5446 (IBGE, 2021). Vale lembrar que, quanto mais próximo de 1 o IDHM, maior o seu desenvolvimento, e quanto mais próximo de zero o Índice Gini, maior o seu grau de igualdade social. Os dados estão especificados na tabela a seguir.

Dados municipais das onze cidades em que a Veracel atua.

Cidade	População	IDHM	Gini	PIB per capita	Área (km ²)	Receita (x1000)
Belmonte	21.798	0,598	0,4979	R\$ 12.442,31	1939,447	R\$ 60.821,88
Canavieiras	32.336	0,590	0,5197	R\$ 9.973,92	1334,284	R\$ 60.662,19
Eunápolis	100.196	0,677	0,5877	R\$ 25.735,13	1425,970	R\$ 256.565,06
Guaratinga	22.165	0,558	0,5385	R\$ 9.374,74	2189,404	R\$ 47.789,08
Itabela	28.390	0,599	0,5681	R\$ 11.561,02	924,914	R\$ 100.994,51
Itagimirim	7.110	0,634	0,5277	R\$ 16.147,89	876,800	R\$ 24.195,68
Itapebi	10.495	0,572	0,4964	R\$ 27.428,96	1013,074	R\$ 42.716,04
Mascote	14.640	0,581	0,6026	R\$ 9.338,70	742,689	R\$ 32.920,25
Porto Seguro	126.929	0,676	0,5693	R\$ 21.317,76	2285,734	R\$ 368.506,51
Potiraguá	9.810	0,625	0,4947	R\$ 23.530,84	1111,567	R\$ 23.530,84
Sta. Cruz Cabrália	26.264	0,654	0,5875	R\$ 15.085,38	1462,942	R\$ 71.484,51

Fonte: IBGE (2021).

A Veracel conta com um total de 963 colaboradores próprios, e o número de parceiros chega a 2.054 colaboradores. Esses profissionais são responsáveis pela produção de celulose, que no ano foi de 1.069.658 toneladas.

A geração de energia pela planta do Turbogenerador em 2021 foi de 806.938 MWh. Vale salientar que essa energia produzida é capaz de alimentar todo o processo fabril e o seu excedente é vendido ao Sistema Nacional.

Ao todo, a Veracel está presente em 198.050,53 hectares; desses, 87.556,09 ha são de área plantada e 99.666,35 ha, de área preservada em *compliance* com PEFC/CERFLOR (*Forest Certification National System*) e *Forest Stewardship Council®*. O Programa de Produtor Florestal que busca parcerias na região possui

22.584 hectares. Na empresa, 100% do processo produtivo usa madeira certificada e controlada em *compliance* com normas internacionais, princípios e critérios.

A busca da excelência operacional é um dos “nortes” da empresa, e dados de 2021 mostram que 98% dos resíduos são reciclados. Outro dado importante é que a eficiência operacional é de 90,9% e, como já visto, o consumo de água por tonelada de celulose é de 22,4 m³/tsa. (metro cúbico/tonelada seca ao ar).

APÊNDICE B – TORRE DE RESFRIAMENTO