

Balanço hídrico reconciliado como uma ferramenta para a gestão estratégica de recursos hídricos em uma indústria de agroquímicos

O objetivo deste estudo foi avaliar estrategicamente a gestão da água em uma indústria do setor de agroquímicos, via construção de um balanço hídrico reconciliado (BHR). Para isto, foi utilizada a metodologia desenvolvida pela Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM/UFBA), e melhorias foram propostas para a indústria com uma abordagem de Produção mais Limpa (P+L). A construção do balanço hídrico foi feita a partir de visitas técnicas e levantamento de informações com operadores e engenheiros locais. O volume de controle foi escolhido como sendo toda a área industrial, durante os meses de junho a outubro de 2020. Para a realização da reconciliação com a utilização da escala de qualidade de informação (QI), seguiu-se para a construção do diagrama de blocos e da planilha com os dados coletados de vazões de entrada e saída. Foram quantificadas noventa e oito (98) correntes aquosas, e a partir da reconciliação foi possível zerar a diferença entre as entradas e saídas de água na empresa como um todo e em cada bloco. Com os dados reconciliados foram propostos indicadores ambientais, entre eles a pegada hídrica (PH). Foram identificados os principais consumidores de água, sendo o uso da água como matéria-prima no processo produtivo responsável pelo consumo de 3,21 t/h; a limpeza e descontaminação das áreas industriais consumindo cerca de 0,96 t/h; e as torres de resfriamento com um consumo de 0,96 t/h de água. Devido a pouca confiabilidade, foram encontradas as principais correntes a serem observadas com maior atenção, como as correntes de efluentes enviadas para coprocessamento, classificadas como informação sem confiança (ISC) na escala QI. O valor de 0,62 m³ de água para cada tonelada de produto produzido foi encontrado, sendo cerca de 77% menor que a PH de empresas do setor químico brasileiro. Assim concluiu-se que a utilização do BHR foi de grande valia, possibilitando identificar os pontos de maior consumo e críticos na medição. Por meio das melhorias propostas para a empresa, calculou-se uma economia possível de água de 1,52 m³ por hora com utilização de água reciclada nos processos.

Palavras-chave: Produção mais limpa; Gestão ambiental; Uso racional da água; Conservação de recursos hídricos.

Reconciled water balance as a tool for the strategic water resources management in an agrochemical industry

The objective of this study was to strategically evaluate the water management in an industry from the agrochemical sector through the construction of a reconciled water balance (RWB). The methodology developed by the Clean Technologies Network (TECLIM) was used, and improvements with a Cleaner Production (P+L) approach were proposed. The construction of the water balance was made from technical visits and surveys of information with local operators and engineers. The control volume was chosen to be the entire industrial area of the company from June to October 2020. Next, the block diagrams and spreadsheet were constructed with the data collected from water flows to carry out reconciliation using the information quality scale (IQ). Ninety-eight (98) water streams were quantified. It was possible to zero the difference between the water inflows and outflows in the entire company and each block from the reconciliation. With the reconciled data, environmental indicators were proposed, including the water footprint (WF). The primary water consumers were identified, being the use of water as raw material in the production process the responsible for the consumption of 3.21 t/h; cleaning and decontamination of industrial areas consuming around 0.96 t/h; and the cooling towers with a consumption of 0.96 t/h of water. Due to their unreliability, the main streams to be more carefully observed were found, i.e., the effluent streams sent to co-processing, classified as unreliable information (URI) in the IQ scale. The value of 0.62 m³ of water for each ton of produced product was calculated, being about 77% lower than the WF of companies in the Brazilian chemical sector. Thus, it could be concluded that using the RWB was of great value, making it possible to identify the points of most significant water consumption and critical in measurement controls. Through the proposed improvements, water savings of 1.52 m³ per hour will be possible using recycled water in the processes.

Keywords: Cleaner production; Environmental management; Rational use of water; Conservation of water Resources.

Topic: Engenharia Ambiental

Received: 12/08/2021

Approved: 13/09/2021

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Pedro Eduardo Dias Barbosa 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8292689360957909>
<http://orcid.org/0000-0001-7456-9839>
pedrobarbosa95@outlook.com

Juliano Curi de Siqueira 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3988696956508686>
<http://orcid.org/0000-0002-6346-8917>
julianocuri2015@gmail.com

Wesley Cardoso Costa 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1463227588078852>
<http://orcid.org/0000-0003-0222-1782>
wccosta@estudante.ufla.br

Camila Silva Franco 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8665381315836223>
<http://orcid.org/0000-0002-6756-683X>
camila.sfranco@ufla.br

Paula Peixoto Assemany 
Universidade Federal de Lavras, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1498629994153004>
<http://orcid.org/0000-0001-7596-7804>
paula.assemany@ufla.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0020

Referencing this:

BARBOSA, P. E. D.; COSTA, W. C.; ASSEMAN, P. P.; SIQUEIRA, J. C.; FRANCO, C. S.. Balanço hídrico reconciliado como uma ferramenta para a gestão estratégica de recursos hídricos em uma indústria de agroquímicos. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.9, p.245-259, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0020>

INTRODUÇÃO

Com o crescimento das cidades, aparecimento das indústrias, novos métodos de produção e o crescimento da economia, o uso da água e suas aplicações foram expandidos. Estima-se que houve um aumento de 80% no total retirado nas duas últimas décadas, e a previsão até 2030 é de um aumento de 24% na demanda nacional (ANA, 2019). Esse crescimento contribui com o aumento do *stress* hídrico e a geração de conflitos de uso da água em todo o país, tanto nos quesitos quantitativos como qualitativos.

Em 2019, foram retirados aproximadamente 2.083 m³/s de água para o abastecimento no Brasil. Deste valor, a irrigação foi responsável por 49,8%, seguida pelo abastecimento urbano (24,3%), industrial (9,7%) e animal (8,4%). Destes, 1.125 m³/s foram consumidos e não retornaram diretamente para os corpos hídricos. Apenas o uso industrial retirou cerca de 202,3 m³/s e descartou diretamente nos corpos de água cerca de 47% deste valor (ANA, 2020).

Fatores prioritários para a escolha do uso da água, como seu baixo valor econômico se comparado com outros tipos de produtos e matérias-primas e sua abundante disponibilidade em algumas regiões, criam obstáculos para a implantação de melhorias na gestão dos recursos hídricos (WALSH *et al.*, 2017). No entanto, a busca por uma melhor eficiência na utilização da água vem da grande demanda e a possibilidade da falta deste recurso. Dessa forma, o gerenciamento estratégico dos recursos hídricos é de suma importância para os setores produtivos, sendo necessário que indústrias atuem de forma eficiente perante a gestão da água e cabendo ao poder público formular políticas que tragam segurança hídrica com qualidade e quantidade adequadas aos mais variados consumidores.

Dentre os instrumentos da gestão ambiental e otimização ambiental de plantas industriais, cita-se o balanço hídrico reconciliado (BHR). O método do BHR tem como princípio o balanço de massa, elaborado a partir da coleta das entradas e saídas de água de um sistema durante determinado período (FREIRE, 2011). Segundo Ribeiro (2018), a principal vantagem é a possibilidade de construir o balanço hídrico, mesmo com a presença de dados de vazões desconhecidas. Além disso, o processo pode ser utilizado em diversos setores empresariais, indústrias, em aeroportos e prédios residenciais, comerciais e públicos. A aplicação do método garante o mapeamento dos principais equipamentos consumidores e das perdas hídricas do empreendimento, auxiliando nas tomadas de decisão, formulação de metas e ações para o gerenciamento hídrico (RIBEIRO, 2018).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar estrategicamente a gestão da água em uma indústria de agroquímicos, por meio da metodologia de BHR. Ainda, buscou-se i) mapear e estudar todas as correntes líquidas, seus usos, consumo e geração de efluentes; ii) realizar o BHR da indústria considerando todas as correntes líquidas de entrada e saída via diagrama de blocos; iii) propor indicadores ambientais que reflitam o estado atual de uso da água pela empresa; iv) propor medidas de melhorias para aumentar a confiabilidade e exatidão dos dados medidos, além de alternativas para diminuição do consumo baseadas na Produção mais Limpa (P+L).

METODOLOGIA

Área de estudo

A empresa em estudo é uma indústria instalada no município de Sorocaba – SP, Brasil, com mais de 600 colaboradores e possuindo cerca de 60 produtos voltados para a agricultura, como fungicidas, inseticidas, herbicidas e produtos especiais voltados para a melhoria da colheita. Estes produtos utilizam água e outros solventes para serem fabricados. O empreendimento produz cerca de 9 mil toneladas de produção por mês, sendo a produção variável devido às épocas de safra no Brasil, podendo chegar a 2 mil toneladas por mês nos momentos de baixa produção.

Os processos de produção, em sua maior parte, são realizados a partir da mistura de matérias-primas que resultam no produto final, sendo os principais equipamentos envolvidos: trituradores, moedores, misturadores, caldeiras, torre de resfriamento e fornos. Na maior parte dos processos, a água entra como matéria-prima e também é utilizada como solvente para descontaminações e limpeza da planta. A empresa ainda utiliza equipamentos para aquecimento de baixa eficiência, que é o caso dos banhos-maria.

A maior fonte de água da planta industrial são os poços subterrâneos localizados dentro da área da empresa e a água proveniente pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba (SAAE) utilizada especificamente nos pontos de consumo humano. A água bombeada dos poços é distribuída para as caixas de água em pontos distintos dentro da empresa e posteriormente distribuída para os pontos de consumo. A água distribuída pelo SAAE é armazenada em uma terceira caixa de água e fornece água para prédios administrativos, banheiros, o restaurante principal e bebedores.

Todo efluente gerado possui uma destinação ambientalmente correta. Para os efluentes de origem industrial, são coletadas amostras para verificar a viabilidade de tratamento interno. A estação de tratamento de efluentes (ETE) industriais utiliza-se de reagentes químicos para a separação dos sólidos e sistemas de osmose reversa para retirar químicos e outros compostos ainda presentes na água. Parte do efluente industrial tratado é destinado para uso na geração de vapor na caldeira principal e de uma das torres de resfriamento. O processo gera lodo e um efluente líquido concentrado oriundo do processo de osmose reversa, sendo o lodo destinado para coprocessamento e o efluente de osmose destinado para terceiros. Caso não seja possível o tratamento interno, o efluente é enviado para empresas terceirizadas. Os efluentes sanitários são tratados integralmente na ETE interna, utilizando o sistema de *Moving Bed Biofilm Reactors* (MBBR) e filtração em micro membranas. Após o tratamento, o efluente é enviado para lagoas naturais que possuem ligação com cursos d'água da região.

Fontes hídricas e balanço hídrico

A construção do balanço hídrico foi realizada a partir da coleta de dados de vazão dos pontos consumidores de água (locais, equipamentos, ferramentas e usos), dos tipos de água utilizados (potável, reciclada, água fria, água quente) e dos dados de consumo e geração de efluentes líquidos na indústria.

A representação dos pontos consumidores e correntes aquosas foi feita na forma de diagrama de

blocos. Para a construção deste é necessário a escolha de um volume de controle (VC), que é a delimitação de uma área, podendo conter todo o *site* industrial ou apenas unidades específicas (FREIRE, 2011). O VC foi escolhido com base nos fluxogramas dos processos, da localização das tubulações na empresa e da distribuição geográfica dos pontos consumidores e seus pontos de saída (caixas de contenção e fossas).

O VC escolhido contemplou todas as áreas administrativas (escritórios), locais produtivos (reatores, torres de resfriamento, caldeiras), banheiros, vestiários, lavanderias, galpões de armazenamento de resíduos, restaurantes, centro de distribuição, laboratórios e a ETE.

Para a construção do balanço hídrico foi necessária a determinação de um período de estudo representativo. A escolha deste período para análise dos dados foi realizada levando em consideração os momentos de maior produção da empresa, entre os meses de junho e outubro de 2020.

Coleta de dados

A empresa faz o acompanhamento do consumo de água e geração de resíduos via documentos preenchidos de forma diária ou semanal. Os dados de vazões das correntes foram obtidos por meio destes documentos de acompanhamento já existentes preenchidos por operadores e repassados para planilhas eletrônicas pelos analistas da área.

As correntes foram divididas em função do tipo e origem da água: oriunda de poço ou SAAE (potável); correntes de vapor; efluentes contaminados com resíduos químicos e que possuem tratamento na ETE da empresa (efluente industrial); águas coletadas de fossas sépticas (efluente sanitário); efluentes da indústria, mas que não se faz tratamento na ETE (coprocessamento); água aderida ao produto e subprodutos gerados no tratamento da ETE. Esta última corrente pode ser separada em: lodos biológicos, lodos industriais, efluentes líquidos gerados no processo de osmose reversa, água tratada do sistema industrial (água reciclada ou efluente de reúso) e água tratada do sistema biológico, sendo cada um dos tipos medidos de forma distinta dentro da empresa.

As massas de lodo industrial geradas na ETE como resíduos foram consideradas nos cálculos de balanço mássico para ajustar os valores das correntes de efluentes industriais de forma que estas representem apenas a parte aquosa oriunda dos poços e SAAE. Isso foi necessário, pois a fração sólida dos efluentes é proveniente de matérias-primas adicionadas após a passagem das correntes de água potável pelos hidrômetros na entrada dos blocos. Estes sólidos representam cerca de 6% da massa de todo efluente industrial. No caso do efluente biológico, o lodo de saída representou apenas 1% da massa do efluente.

O volume captado dos poços, assim como a quantidade medida em cada hidrômetro, foi coletado de formulários próprios da empresa, preenchido todas as segundas e sextas-feiras. Este formulário apresenta os pontos na indústria onde cada hidrômetro fica localizado, as leituras em metros cúbicos, o consumo final mensal de cada hidrômetro e a água utilizada, sendo apenas três tipos: água do poço, água reciclada e água de abastecimento do SAAE.

As correntes de vapor não possuem ferramentas de medição, possuindo apenas os hidrômetros de

entrada da caldeira como fontes de informação para a quantidade de vapor existente. Por ser um sistema fechado e estar em constante observação, considerou-se que a corrente de vapor é quantitativamente igual, em massa, à soma das correntes aquosas de abastecimento da caldeira. As perdas por vapor dos equipamentos de banho-maria foram calculadas pela diferença entre os valores de entrada e saída da planta onde estão instalados, uma vez que não possuem hidrômetros próprios.

As correntes com geração de efluentes sanitários e industriais foram coletadas em documento preenchido em todo início e fim da batelada da ETE, constando leitura do hidrômetro no início e fim, ponto gerador, tipo de efluente (sanitário ou industrial), turno responsável pelo tratamento e operador responsável.

Os dados para as outras correntes, sendo elas: coprocessamento, efluente do processo de osmose reversa e os lodos foram obtidos no documento Manifesto de Transporte de Resíduo (MTR), emitido em todas os momentos de transporte de resíduo. Deste documento foram extraídos os valores mássicos de cada uma destas correntes, os pontos de geração dentro da fábrica e os dias de coleta. Para a data de coleta, só se considerou o mês, devido às coletas não serem feitas necessariamente no mesmo dia em que o efluente foi gerado.

Todos os dados sobre água incorporada ao produto foram disponibilizados pela área da produção da empresa ao final de cada semana. Os dados foram coletados por engenheiros e operadores 24 horas por dia via transformação de volume em massa na proporção 1:1 com os valores dos hidrômetros das plantas. Isto é, cada 1 m³ registrado no hidrômetro representaria 1 tonelada de água, sendo esta comparação feita para observar possíveis incoerências nas medições do hidrômetro ou da balança.

Qualidade da informação

A escala de qualidade da informação (QI) foi construída em função dos tipos de ferramentas de monitoramento (hidrômetros, tempo de medição, calibração dos equipamentos) e a qualidade destas medições (operadores treinados e quantidade de coletas), de acordo com a escala proposta por Oliveira (2011).

A Figura 1 representa a escala QI para a empresa, construída com a ajuda de operadores, técnicos e engenheiros da empresa. Os valores da escala variam entre 0,5 (o menor valor, atribuído às fontes de informação sem confiança e com o maior número de incertezas) e 10 (o maior valor, atribuído às correntes com a melhor fonte de informação e menores incertezas).

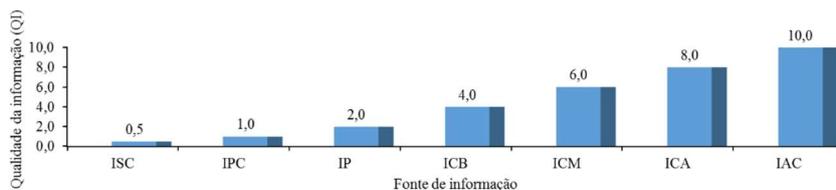


Figura 1: Escala QI para a indústria (Legenda - ISC (informação sem confiança): estimativas grosseiras como pesagem dos caminhões com efluentes, estimativa por área; IPC (informação pouco confiável): estimativas por vazões já conhecidas, volumes conhecidos; IP (informação precária): medição com instrumentos sem calibração; ICB (informação de confiança baixa): medições de operadores pouco experientes, medições uma vez na semana; ICM (informação de confiança média): medições de operadores experientes em equipamentos calibrados com coleta 2 vezes na semana; ICA (informação com confiança alta): medições em instrumentos calibrados e operadores experientes com coleta 1 vez ao dia; IAC (informação altamente confiável): medições em instrumentos calibrados de alta precisão com operadores experientes coletados no início e fim de cada processo). **Fonte:** Adaptado de Ribeiro (2018).

Balanço hídrico reconciliado

De posse dos dados, pode-se trabalhar na construção de fluxogramas com as direções e sentidos das correntes de água, suas origens e destinos, além de distinguir as correntes por tipo de água e utilização. A partir dos fluxogramas, criou-se o diagrama de blocos em uma planilha eletrônica. Nela foram representados de forma macro as áreas, equipamentos, processos, fluxos e direção das correntes, assim como suas inter-relações. A escolha dos blocos levou em consideração as caixas de contenção, que são a ligação entre as correntes de entrada e saída. Nos casos da caldeira a vapor e da ETE, os blocos foram escolhidos devido sua importância e ligação com as demais correntes, e por não possuírem fossas para coleta de efluentes, seja pela caldeira não liberar efluentes líquidos ou pela ETE já realizar o tratamento do próprio efluente gerado. As correntes foram enumeradas de 1 a 98 e sinalizadas com as letras “E” para correntes de entradas, “S” para correntes de saída e “I” para correntes onde a vazão já foi contabilizada em outra corrente. Para cada bloco, a diferença de entrada e saída foi calculada, conforme Equação 1 definida por Ribeiro (2018), de forma a verificar algum desequilíbrio entre entrada e saída de água.

$$\Delta d = q_{out} - q_{in} \quad (1)$$

Onde: Δd = diferença de vazão entre entrada e saída; Q_{out} = vazão de saída; Q_{in} = vazão de entrada.

Para os blocos onde surgiram diferenças significativas, foi feita uma análise mais aprofundada para a coleta dos dados faltosos. Desta análise descobriu-se, por exemplo, que os dados da evaporação dos banhos-maria, responsáveis pelo aquecimento de matéria-prima antes de serem utilizadas e de uma fossa sanitária estavam sendo contabilizados como saída de efluente para outro bloco. As devidas correções dos dados na planilha foram feitas.

A reconciliação foi feita utilizando a formulação de Crowe (Equação 2) que possui o objetivo de minimizar o erro quadrático entre as vazões medidas e as vazões reconciliadas, com a adaptação feita por Martins *et al.* (2010) conforme Equação 3, possibilitando a utilização de todo tipo de informação mapeada por meio da utilização da escala QI. Ainda, levou-se como restrição a Equação 4 para o balanço de massa.

$$\min \sum_{i=1}^N \frac{(q_{ri} - q_{mi})^2}{\sigma^2} \quad (2)$$

$$\min \sum_{i=1}^N \frac{(q_{ri} - q_{mi})^2}{q_{mi}^2} \times QI_i^2 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N (q_{ri_{in}}) - \sum_{i=1}^N (q_{ri_{out}}) = 0 \quad (4)$$

Onde: min = mínimo; i = correntes; N = número de correntes envolvidas; qr = vazão reconciliada; qm = vazão medida; σ = incerteza da medição; QI = qualidade da informação; in = corrente de entrada; out = corrente de saída.

A realização da reconciliação de dados ocorreu com auxílio da ferramenta *Solver* do *software* Excel (versão 2016).

Indicadores de Desempenho Ambiental

Foram calculados indicadores de desempenho para a empresa relacionando os dados das vazões reconciliadas com dados como toneladas produzidas no mesmo período, valor obtido de vendas e número de colaboradores. Entre os principais indicadores calculados estão o consumo de água por produção ou pegada hídrica (PH), que foi calculada conforme Equação 5.

$$PH_{proc}[p] = \frac{\sum_{s=1}^n PH_{proc}[s]}{P[p]} \quad (5)$$

Onde: $PH_{proc}[p]$ é a pegada hídrica do produto, $PH_{proc}[s]$ é a pegada hídrica do passo “s” e $P[p]$ é a quantidade produzida de produto “p” (massa/tempo).

Além da PH, foram calculados indicadores como: geração de efluentes por água captada; água reciclada por efluente tratado; água potável por funcionário por dia; água captada por valor de vendas. Todos os indicadores foram calculados usando as vazões já reconciliadas. Alguns destes indicadores foram utilizados para comparação com empresas do mesmo setor, além de uma possível utilização interna para melhorias na visualização do consumo e geração dentro da empresa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Balanço hídrico reconciliado

Os parâmetros de entrada da reconciliação foram compostos pelas 98 correntes principais (1 a 98) (Tabela 1). A Figura 2 ilustra uma visão parcial do diagrama de blocos, onde os blocos representam áreas que englobam diversos equipamentos e na maior parte diversos processos. As correntes de água de poços, água reciclada, água do SAAE, efluentes sanitários, efluentes industriais, vapor de água e coprocessamento são representados por setas contínuas, sendo diferenciada por cores para representar cada tipo de corrente. Ao lado de cada bloco estão os códigos de identificação das correntes e seus respectivos valores de QI e vazão mássica. No interior dos blocos se encontra o saldo do balanço hídrico. Por exemplo, podemos observar no bloco 1 (B1) a corrente de saída S7, que é uma corrente de saída de água incorporada no produto, possui uma QI igual a 8 e uma vazão reconciliada de 0,51 t/h.

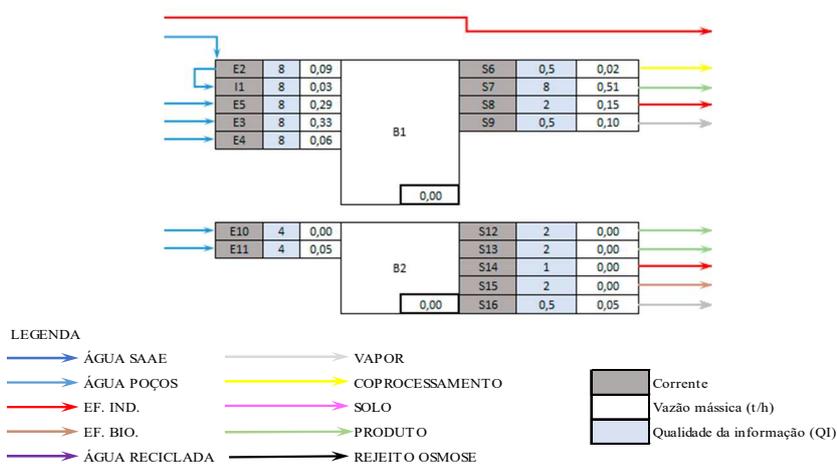


Figura 2: Exemplificação parcial do diagrama do balanço hídrico.

Na Tabela 1 observa-se todas as correntes que fazem parte do balanço hídrico da empresa, com

seus respectivos dados de vazão medida (qm), vazão reconciliada (qr), a qualidade de informação (QI), os limites inferiores (LI) e superiores (LS) de vazão e a porcentagem (%) de variação entre os valores medidos e reconciliados (Δp). É possível observar que as correntes com a maior variação de % foram as com baixos valores de QI, sendo as principais as correntes de coprocessamento e efluentes industriais.

No entanto, algumas correntes com valores elevados de QI também apresentaram uma diferença considerável. Neste caso, como são correntes com grandes vazões, como exemplo a corrente de entrada de água do SAAE (E89), conclui-se que existem correntes não medidas nestes pontos, vazamentos ou que hidrômetros possam estar em série, isto é, com o consumo duplicado já que a empresa conta apenas com mapas construídos a partir do conhecimento dos atuais engenheiros e operadores.

Tabela 1: Correntes envolvidas no processo de reconciliação e suas informações. * A coluna "ID" representa a identificação das correntes, sendo a letra utilizada para indicar: I = interna do bloco, E = entrada do bloco e S = saída do bloco.

Bloco	ID	Corrente	qm (t/h)	qr (t/h)	QI	Δp
1	I1	ÁGUA DO POÇO	2,63E-02	2,63E-02	8	0%
1	E2	ÁGUA DO POÇO	8,54E-02	8,54E-02	8	0%
1	E3	ÁGUA DO POÇO	3,34E-01	3,34E-01	8	0%
1	E4	ÁGUA DO POÇO	6,22E-02	6,22E-02	8	0%
1	E5	ÁGUA DO POÇO	2,91E-01	2,91E-01	8	0%
1	S6	COPROCESSAMENTO	1,65E-02	1,64E-02	0,5	0%
1	S7	ÁGUA NO PRODUTO	5,07E-01	5,07E-01	8	0%
1	S8	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,46E-01	1,46E-01	2	0%
1	S9	VAPOR	1,07E-01	1,04E-01	0,5	-3%
2	E10	ÁGUA DO POÇO	9,72E-04	9,72E-04	4	0%
2	E11	ÁGUA DO POÇO	5,06E-02	5,06E-02	4	0%
2	S12	ÁGUA NO PRODUTO	1,39E-06	1,39E-06	2	0%
2	S13	ÁGUA NO PRODUTO	1,39E-06	1,39E-06	2	0%
2	S14	EFLUENTE INDUSTRIAL	4,72E-03	4,72E-03	1	0%
2	S15	EFLUENTE BIOLÓGICO	1,39E-07	1,39E-07	2	0%
2	S16	VAPOR	4,68E-02	4,68E-02	0,5	0%
3	E17	ÁGUA DO POÇO	1,67E-03	1,64E-03	8	-2%
3	E18	ÁGUA DO POÇO	2,59E-01	2,59E-01	8	0%
3	S19	COPROCESSAMENTO	3,30E-02	3,32E-02	0,5	1%
3	S20	ÁGUA NO PRODUTO	1,61E-01	1,61E-01	8	0%
3	S21	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,39E-07	1,81E-07	2	30%
3	S22	EFLUENTE INDUSTRIAL	4,25E-03	4,36E-03	2	2%
3	S23	EFLUENTE BIOLÓGICO	1,33E-02	1,34E-02	4	0%
3	S24	VAPOR	4,78E-02	4,87E-02	0,5	2%
4	E25	ÁGUA DO POÇO	1,61E-01	1,61E-01	6	0%
4	E26	ÁGUA DO POÇO	3,15E-01	3,15E-01	6	0%
4	E27	ÁGUA DO POÇO	1,76E-01	1,76E-01	6	0%
4	S28	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,06E-02	1,06E-02	2	0%
4	S29	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,44E-01	1,43E-01	2	-1%
4	S30	EFLUENTE BIOLÓGICO	3,44E-01	3,43E-01	4	0%
4	S96	VAPOR	1,53E-01	1,38E-01	0,5	-10%
4	S97	ÁGUA DO POÇO	1,78E-02	1,78E-02	2	0%
5	E31	ÁGUA DO POÇO	6,05E-02	6,03E-02	6	0%
5	S32	EFLUENTE INDUSTRIAL	2,79E-02	2,91E-02	1	4%
5	S33	EFLUENTE BIOLÓGICO	3,12E-02	3,13E-02	4	0%
6	E34	ÁGUA SAAE	4,75E-01	4,74E-01	8	0%
6	E35	ÁGUA SAAE	2,57E-01	2,57E-01	8	0%
6	E36	ÁGUA SAAE	6,56E-02	6,56E-02	8	0%
6	E37	ÁGUA SAAE	1,03E-01	1,03E-01	6	0%
6	E38	ÁGUA SAAE	1,60E-02	1,60E-02	4	0%
6	S39	EFLUENTE BIOLÓGICO	6,56E-02	6,57E-02	4	0%
6	S40	EFLUENTE BIOLÓGICO	1,03E-01	1,03E-01	4	0%
6	S41	EFLUENTE BIOLÓGICO	1,75E-02	1,75E-02	4	0%
6	S42	EFLUENTE BIOLÓGICO	6,74E-01	6,77E-01	4	0%
6	S98	ÁGUA DO POÇO	5,30E-02	5,31E-02	2	0%
7	E43	ÁGUA DO POÇO	6,45E-04	6,50E-04	2	1%
7	E44	ÁGUA DO POÇO	1,97E-02	2,10E-02	4	6%
7	S45	EFLUENTE INDUSTRIAL	6,39E-03	5,86E-03	2	-8%

7	S46	EFLUENTE INDUSTRIAL	8,89E-03	7,87E-03	2	-11%
7	S47	EFLUENTE INDUSTRIAL	3,89E-03	3,69E-03	2	-5%
7	S48	EFLUENTE INDUSTRIAL	4,44E-03	4,19E-03	2	-6%
8	E49	ÁGUA DO POÇO	1,51E-02	1,93E-02	2	28%
8	S50	EFLUENTE INDUSTRIAL	2,76E-02	1,93E-02	2	-30%
9	I51	ÁGUA DO POÇO	2,02E-01	1,89E-01	4	-6%
9	S52	ÁGUA RECICLADA	2,03E-01	1,98E-01	6	-3%
9	E53	ÁGUA DO POÇO	1,89E-01	1,89E-01	8	0%
9	S54	REJEITO DA OSMOSE	4,17E-01	4,20E-01	1	1%
9	S55	EFLUENTE INDUSTRIAL	7,59E-02	7,59E-02	2	0%
9	E90	EFLUENTE INDUSTRIAL TOTAL	5,37E-01	4,90E-01	2	-9%
9	E91	EFLUENTE BIOLÓGICO TOTAL	1,54E+00	1,54E+00	4	0%
9	S93	ÁGUA RECICLADA	1,52E+00	1,53E+00	0,5	1%
10	E56	ÁGUA DO POÇO	3,60E-01	3,54E-01	8	-2%
10	S57	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,55E-02	1,16E-02	4	-25%
10	I58	ÁGUA DO POÇO	5,96E-01	5,92E-01	6	-1%
10	E59	ÁGUA DO POÇO	2,56E-01	2,55E-01	6	0%
10	E60	ÁGUA DO POÇO	1,16E+00	1,16E+00	6	0%
10	E61	ÁGUA DO POÇO	1,39E-07	1,39E-07	6	0%
10	E62	ÁGUA DO POÇO	1,55E+00	1,54E+00	6	-1%
10	E63	ÁGUA DO POÇO	3,04E-03	3,35E-03	8	10%
10	E64	ÁGUA DO POÇO	4,34E-01	4,35E-01	6	0%
10	I65	ÁGUA DO POÇO	2,34E-02	2,32E-02	6	-1%
10	E66	ÁGUA DO POÇO	3,72E-01	3,72E-01	6	0%
10	S67	COPROCESSAMENTO	3,21E-03	1,93E-03	0,5	-40%
10	S68	COPROCESSAMENTO	7,86E-01	6,00E-01	0,5	-24%
10	S69	ÁGUA NO PRODUTO	2,49E+00	2,54E+00	6	2%
10	S70	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,56E-02	1,09E-02	2	-30%
10	S71	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,02E-02	7,11E-03	2	-30%
10	S72	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,18E-07	1,18E-07	2	0%
10	S73	EFLUENTE INDUSTRIAL	1,18E-07	1,18E-07	2	0%
10	S74	EFLUENTE INDUSTRIAL	7,78E-03	5,44E-03	2	-30%
10	S75	VAPOR	1,44E-01	1,18E-01	0,5	-18%
10	S92	COPROCESSAMENTO	5,85E-02	3,51E-02	0,5	-40%
10	S94	VAPOR	5,96E-01	4,52E-01	0,5	-24%
10	S95	VAPOR	3,72E-01	3,42E-01	0,5	-8%
11	E76	ÁGUA DO POÇO	4,03E-01	4,05E-01	6	1%
11	S77	EFLUENTE BIOLÓGICO	2,80E-01	2,79E-01	4	0%
11	S78	ÁGUA DO POÇO	1,26E-01	1,26E-01	0,5	0%
12	E79	ÁGUA DO POÇO	1,25E-01	1,22E-01	8	-2%
12	E80	ÁGUA RECICLADA	8,39E-02	8,27E-02	8	-1%
12	S81	VAPOR	1,99E-01	2,05E-01	4	3%
A	I82	ÁGUA DO POÇO	4,34E+00	4,53E+00	6	4%
A	I83	ÁGUA SAAE	7,68E-01	9,16E-01	4	19%
A	I84	ÁGUA DO POÇO	2,37E+00	2,15E+00	6	-9%
A	I85	ÁGUA DO POÇO	2,35E+00	2,15E+00	6	-8%
A	S86	EFLUENTE INDUSTRIAL	8,00E-03	8,00E-03	2	0%
A	E87	ÁGUA DO POÇO	7,88E-01	7,89E-01	8	0%
A	E88	ÁGUA DO POÇO	6,02E+00	5,90E+00	10	-2%
A	E89	ÁGUA SAAE	7,77E-01	9,16E-01	6	18%

Das 98 correntes observadas, algumas chegaram a ter variações de 30 a 40%, principalmente as de efluentes industriais. Estas foram as correntes que, embora não apresentaram os piores valores de QI, eram as mais propensas a mudanças, já que são as correntes principais de saída das áreas industriais, apresentando as maiores vazões originárias das limpezas dos reatores.

Pode-se observar também que nos blocos 7, 8 e 9 houve uma concentração de correntes com as maiores variações de vazão. O bloco 7 representa a área de manutenção da empresa com baixo uso de água e geração de efluentes contaminados com óleos. Portanto, as variações em % podem ser explicadas devido às vazões muito baixas. Por outro lado, as variações no bloco 8 podem ser explicadas pelo fato de a água que entra no bloco não sair necessariamente no mesmo período estudado, já que no local existe

armazenamento dos efluentes gerados em contêineres. Além disso, a corrente de saída é oriunda da caixa de efluentes que é utilizada muitas vezes como uma caixa de recebimento de outras áreas. Dessa forma, os efluentes de setores diversos estavam armazenados em contêineres aguardando tratamento. O bloco 9 representa a ETE da empresa, e a principal variação de vazão foi em sua corrente com o pior valor de QI. Essa corrente representa o rejeito de osmose, cuja quantidade foi estimada a partir da diferença de pesos do caminhão na entrada e saída da empresa.

Via reconciliação de dados permitiu-se que a diferença global do balanço hídrico absoluto, de 0,471 t/h, fosse anulada (Figura 3), assim como todos os balanços de cada bloco da empresa. Essa diferença foi originada principalmente dos processos de limpeza industrial, processos de resfriamento em torres e dos equipamentos de banho-maria.

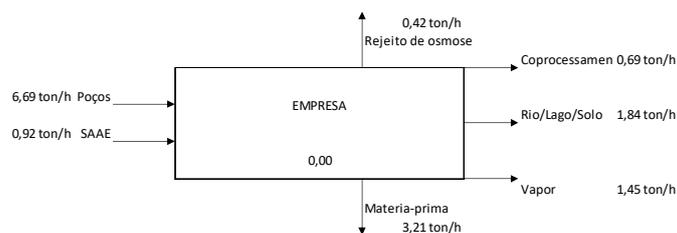


Figura 3: Representação macro do BHR.

Dentre os equipamentos, as torres de resfriamento tiveram o maior consumo, cerca de 0,964 t/h. Em seguida, as caldeiras foram responsáveis por um consumo de 0,343 t/h e os equipamentos de banho-maria com 0,270 t/h. As torres de resfriamento são equipamentos conhecidos pelo grande consumo de água, cuja função é a troca de calor de correntes internas dos processos com a água, que ao receber o calor evapora para a atmosfera. Equipamentos de banho-maria também possuem elevada perda de água, já que a água está presente em elevadas temperaturas para o aquecimento da matéria-prima. Além disso, são equipamento abertos ao ambiente e perdem água na forma de vapor. O grande consumo pela caldeira é explicado por este equipamento possuir uma limitação na recirculação do vapor, após o aquecimento dos banhos-maria. Dessa forma, o vapor é liberado para a atmosfera, fazendo com que o consumo seja elevado.

Pôde-se observar ainda que o maior consumidor de água na empresa advém da utilização deste recurso para incorporação nos produtos (3,209 t/h), seguido da limpeza dos reatores da linha de produção (0,976 t/h). As áreas da cozinha e dos banheiros ficaram em, respectivamente, 4º e 5º lugares no *ranking* dos maiores consumidores. A cozinha utiliza água para além da preparação dos alimentos, por exemplo em usos que vão desde a limpeza do local (que foi intensificada no período da pandemia de COVID-19), até o consumo de água utilizada para beber. Era esperado um consumo considerável nos banheiros pois, ao final de turno, todos os funcionários da produção tomam banho para não ocorrer contaminação destes e de seus familiares por substâncias que são utilizadas na empresa, além também de outros usos para higiene pessoal.

A partir da aplicação do BHR, Freire (2011), em um aeroporto com 52% das suas principais correntes aquosas medidas, afirma que foi possível realizar o mapeamento das principais correntes de

entrada e saída. O autor constatou que com manutenções, regulagens e alterações no *design* dos sanitários do aeroporto, seria possível a redução de até 77% no consumo de água. Assim, os estudos contribuíram para subsidiar a identificação e instalação de novos hidrômetros, além da proposição de ações voltadas para o consumo racional de água no aeroporto.

Souza *et al.* (2009) relatam que, com BHR aplicado em uma unidade de tratamento de água de uma empresa petroquímica, foi possível mapear os medidores falhos e locais com incidência de vazamentos. Ainda, foi possível identificar no sistema de tratamento os processos com maior demanda de água. Os resultados obtidos permitiram concluir que a otimização no processo de tratamento de água é mais significativa na redução do consumo e geração de efluentes do que a identificação dos vazamentos e/ou mau funcionamento dos medidores.

Não obstante, Guzzo *et al.* (2017) apresentaram como objetivo avaliar o potencial de aproveitamento de água de condensação em edifícios comerciais de grande porte. Segundo os autores, o emprego da metodologia permitiu concluir que apesar da água pluvial ser uma extensa fonte hídrica no local em termos quantitativos, a água condensada possui um potencial de aproveitamento relevante, sendo passível de ser utilizada por indústrias eletrônicas, caldeiras para produção de aço, indústria farmacêutica e médica, além de aplicações em laboratórios e no abastecimento público.

No caso do presente trabalho, foi possível a visualização mais rápida e coerente dos fluxos de consumo hídrico e pontos críticos, tanto como os de maior consumo de água e mais problemáticos, quanto a existência de vazamentos. Além disso, o BHR contribuiu com a possibilidade de promover melhorias via utilização de dados que possuem uma confiabilidade maior do que os dados medidos, possibilitando, dentre outras ações, a diminuição de consumo e reutilização de efluentes.

Foi possível observar que mais da metade das correntes acompanhadas possuíram informações de baixa ou nenhuma confiança, assim como Ribeiro (2018). Com isso, demonstra-se que o conceito QI é importante para a reconciliação, ajudando na identificação de dados poucos confiáveis e mais propensos de modificações. Igualmente, na visão de Souza *et al.* (2009), Guzzo *et al.* (2017) e Campos (2018), a reconciliação de dados é necessária, pois proporciona novos valores de vazões capazes de satisfazer as equações de balanço de massa, aproximando os valores reais de vazão originais e os reconciliados

As correntes classificadas como ISC na escala QI, ou seja, as sem confiança alguma, foram correntes cujas medições foram feitas através de estimativas da diferença entre outras correntes, como foi o caso das correntes de vapor, referentes as saídas das torres de resfriamento (S94 e S95) e dos banhos-maria (S9, S24 e S75) (Figura 4). As correntes de coprocessamento também tiveram a pior classificação por serem medidas em balanças rodoviárias e por não se conhecer a composição aproximada destas correntes com alta contaminação de sólidos da produção. Além disso, a não realização de teste de densidade para se ter um valor mais aproximado do volume de água que realmente é incorporada ao resíduo e é contabilizada na saída pode ser destacada como um fator limitante.

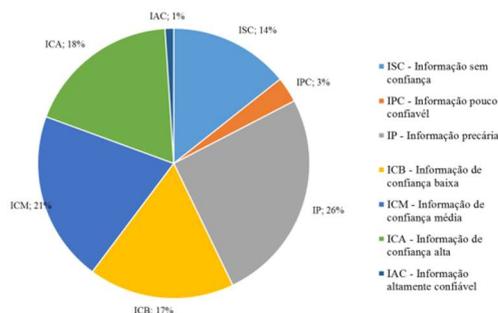


Figura 4: Distribuição da escala QI em relação às correntes mapeadas.

A Tabela 2 apresenta o número de correntes com variação percentual (Δp) entre as vazões medidas e reconciliadas maiores e menores que 2%, separadas em relação à escala QI. A escolha do valor de 2% foi pelo fato deste ser o erro aceito nas correntes mais confiáveis (IAC), sendo a variação entre as correntes medidas e reconciliadas comparadas a este erro máximo.

Tabela 2: Distribuição da escala QI em relação a variação nas correntes medidas e reconciliadas.

Qualidade de Informação (QI)	$\Delta p < 2\%$	$\Delta p \geq 2\%$
ISC	6	8
IPC	2	1
IP	12	13
ICB	13	4
ICM	18	2
ICA	14	4
IAC	1	0
TOTAL	66	32

Pode-se observar que entre as correntes com valores mais baixos de QI, mais da metade obteve valores acima de 2%, mostrando que estas correntes realmente apresentam diferenças entre os valores reais e os medidos. Porém, deve-se dar ênfase ao grupo de correntes com escala QI de informação precária (IP), já que estas também apresentaram mais da metade das correntes com variações acima dos 2%, o que pode significar que estas correntes apresentam uma informação ainda menos confiável. Matos *et al.* (2010) otimizaram um sistema industrial a partir da utilização do BHR em uma estação de tratamento de água, utilizando-se do indicador QI como substituto das incertezas. A partir da reconciliação, verificou-se grandes discrepâncias entre os valores medidos e reconciliados, indicando que seria improvável que a empresa conhecesse o consumo de suas unidades com uma incerteza menor que 5%.

Indicadores de Desempenho Ambiental

O indicador que se mostrou mais relevante foi o de água consumida por produto, ou a PH da empresa, com um valor 0,62 m³/(t.mês), indicando que para cada 0,62 metros cúbicos de água consumida na empresa é produzida 1 tonelada de produto (Tabela 3). Embora seja um valor alto, grande parte dos produtos da empresa fabricados utilizam água como matéria-prima ou no processo produtivo. Outro indicador de destaque foi o efluente gerado por água consumida (0,36), que pode ser entendido como 0,36 m³ de efluente gerado para cada 1 m³ de água captada (água coletada dos poços mais a água da SAAE), ou seja, 36% da água consumida é descartada em forma de efluente.

Tabela 3: Indicadores ambientais da empresa.

Indicador	Valor	Unidade
PH	0,62	m ³ /(t.mês)
Efluente gerado / Água captada	0,36	m ³ /(m ³ .mês)
Água reciclada/ Efluente tratado	0,13	m ³ /(m ³ .mês)
Água potável / N° de colaboradores	1,61	m ³ /colaborador
Litros de água captada / R\$	0,03	L/(R\$.mês)

A partir de um estudo feito nas indústrias químicas brasileiras no ano de 2015, a PH média era de 4,81 m³/t, com uma projeção de diminuição deste valor para 2020, chegando a cerca de 2,7 m³/t (ABIQUIM, 2016). O valor encontrado para este indicador foi de 0,62 m³/t, 77% menor que o encontrado para indústrias do setor químico brasileiro. Em setores agroindustriais podemos observar que existe uma grande diferença entre o PH se comparado ao calculado para uma indústria química, visto que estes são setores onde o uso de água é essencial durante todo o período de crescimento, seja dos animais ou das plantas cultivadas. Neste setor, a PH pode chegar a 16.000 m³/t, no caso do couro bovino e 3.400 m³/t para o arroz (HOEKSTRA, 2011; SILVA et al., 2013). Em setores como o têxtil, segundo Allègre *et al.* (2006), utiliza-se cerca de 70 e 150 litros de água para 1 kg de peça seca durante o processo de beneficiamento, ou seja, a PH varia entre 70 e 150 m³/t de peça produzida.

Empreendimentos que trabalham com o setor de alimentos, agronegócio e bioenergia, apresentam valores mais próximo aos encontrados. Conforme descrito no Relatório de Sustentabilidade da Bunge (BUNGE, 2016), a PH foi de 1,65 m³/t na produção de açúcar e bioenergia, neste caso não contabilizando o consumo de água para se produzir a cana-de-açúcar, levando em conta apenas a produção de açúcar e combustível; 0,71 no setor de alimentos e 1,27 como média de PH em toda a rede no Brasil (BUNGE, 2016).

Em relação ao indicador de razão entre o uso mensal de água potável e o número de colaboradores, o valor encontrado foi de 1,61 m³/colaborador, cerca de 53,66 L/(colaborador.dia), abaixo dos valores encontrados na literatura de consumo de água no Brasil, que variam entre 87 a 165 L/(hab.dia) (ANA, 2019).

Proposição de melhorias para a gestão da água

Diante dos resultados do BHR, identificou-se possíveis medidas de melhorias para a gestão de recursos hídricos da empresa. A empresa já conta com algumas técnicas de redução de consumo e geração de efluentes, mas ainda existem oportunidades para tornar a gestão mais eficiente e assim, e incluir práticas mais sustentáveis nos âmbitos ambiental e econômico.

A primeira medida proposta é a troca e instalação de hidrômetros em locais onde não existe medição ou em locais em que os valores de QI encontrados no estudo foram baixos, a fim de verificar o consumo mais próximo do real. Pontos como as torres de resfriamento e banhos-maria, onde o consumo de água é contabilizado no mesmo hidrômetro utilizado para mensurar o consumo de outros equipamentos, são também locais de possível instalação de novos hidrômetros. Da mesma maneira, sugere-se a medição no momento de saída dos contêineres contendo efluentes industriais para coprocessamento, já que atualmente estes são contabilizados somente a partir dos dados de medição da balança apresentados no manifesto de transporte. Dessa forma, será possível verificar o consumo real dos

equipamentos, não sendo necessrio o uso de estimativas.

Adicionalmente, sugere-se verificar a possibilidade de diminuio na quantidade de gua utilizada nos processos de fabricao sem alterar a qualidade do produto final, via a troca de equipamentos por modelos mais eficientes. Ressalta-se tambm a utilizao de equipamentos de limpeza automatizados ou mais eficientes, que fazem a limpeza dos reatores de produo com maior preciso e com menor consumo de gua. A limpeza de reatores é responsvel por utilizar cerca de 0,9 toneladas de gua por hora, o que representa 13% do uso de gua da empresa.

Também se propoe avaliar a qualidade da gua resultante do tratamento do efluente sanitrio para um possvel reuso para fins no potveis, como lavagens de veiculos e irrigao dos jardins, sendo possvel uma reduo de cerca de 1,53 t/h no consumo de gua. Em estudo anlogo, Matos *et al.* (2010) sugeriram a possibilidade de reuso de cerca de 80 m³/h, que poderiam acarretar em at 150 m³/h de reduo no consumo de gua em uma estao de tratamento de gua, que corresponderia a 12% do volume de gua captado na planta. Campos (2018) elucida as vantagens do BHR. Segundo o autor, o aproveitamento de duas fontes de gua no potvel (gua de condensao e gua da chuva) oriundas da captao de um restaurante de grande porte, bem como a implantao dos dispositivos economizadores, implicariam em uma economia de 21.997,4 m³/ano, correspondendo a uma reduo de 34,6 % da demanda de gua potvel pelo uso de fontes alternativas.

Outras medidas dizem respeito a troca e atualizao de equipamentos hidrossanitrios de uso comum para a preveno de vazamentos e melhoria contnua dos equipamentos; campanhas de educao ambiental com os colaboradores; anlise da viabilidade de captao e aproveitamento da gua de chuva; e realizao de manutenes mais rigorosas e preventivas em equipamentos consumidores de gua, como torres de resfriamento, caldeiras e banhos-maria. A partir do BHR, Matos *et al.* (2010) detectaram a existncia de vazamentos em uma estao de tratamento de gua, que totalizavam cerca de 70 m³/h.

CONCLUSOES

Por meio do mapeamento de 98 correntes lquidas da indstria e o uso da metodologia TECLIM foi realizado o BHR de uma empresa do setor de agroqumica. A reconciliao de dados permitiu que a diferena global do balço hídrico absoluto, de 0,471 t/h, fosse anulada, assim como todos os balanços de cada bloco da empresa. Essa diferena foi originada principalmente dos processos de limpeza industrial, gua utilizada no produto e dos equipamentos de banho-maria. Dentre as atividades, o maior consumidor de gua na empresa advm da utilizao deste recurso para incorporao nos produtos, seguido da limpeza dos reatores da linha de produo.

A partir dos resultados do BHR, foram propostos indicadores para controle e comparao da empresa e melhorias levando a P+L em considerao, que englobam principalmente a ampliao do reuso do efluente tratado e expanso e atualizao da hidrometrao das correntes de consumo. Observou-se ainda que, mesmo contando com equipamentos de medio, diversas correntes ainda so medidas com precariedade e baixa preciso, tornando ineficiente a gesto atual da gua na empresa.

Conclui-se pela aplicabilidade do BHR como importante ferramenta para melhorar a gestão estratégica dos recursos hídricos no contexto industrial, com identificação de fragilidades e pontos críticos para aprimoramento.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional De Águas. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019.

ANA. Agência Nacional De Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual. Brasília: ANA, 2020.

ALLÈGRE, C.; MOULIN, P.; MAISSEU, M.; CHARBIT, F.. Treatment and Reuse of Reactive Dyeing Effluents. **Journal of Membrane Science**, v.269, p.15-34, 2006.

ABQUIM. Associação Brasileira Da Indústria Química. **Relatório dos Indicadores de Desempenho da Atuação Responsável**. São Paulo, 2016.

BUNGE. **Relatório de Sustentabilidade 2016**. São Paulo: Bunge, 2016.

CAMPOS, R. H.. **Conservação e Aproveitamento de fontes alternativas de água para fins não potáveis sem um restaurante industrial de grande porte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

CROWE, C. M.; CAMPOS, Y. A. G.; HRYMAK, A.. Reconciliation of process flow rates by Matrix Projection. **AICHE Journal**, v.29, n.6, p.881-888, 1983.

FREIRE, M. T. M.. **O consumo racional de água no Aeroporto Internacional de Salvador, Bahia/Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

GUZZO, F. R.; BELISÁRIO, G. Z.; GONÇALVES, R. F.. **Avaliação do Aproveitamento da água condensada em edificação comercial de grande porte**. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais**. São Paulo, 2017.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALADAYA, M. M.. **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: estabelecendo o Padrão Global**. 2011.

MATOS, F. F.; MEDEIROS, F. F.; KIPERSTOK, A.; KALID, R.; ESQUERRE, K. P. O.. **Minimização do uso de água na**

indústria através da ferramenta digital balanço hídrico. In: CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais**. Salvador, 2010.

MARTINS, M. A. F.; AMARO, C. A.; SOUZA, L. S.; KALID, R. A.; KIPERSTOK, A.. New objective function for data reconciliation in water balance from industrial processes. **Journal of Cleaner Production**, v.18, n.12, p.1184-1189, 2010.

OLIVEIRA, G. L.; KIPERSTOK, A.; KALID, R. A.; ESQUERRE, K. P. S. O.; SALES, E. A.. Metodologia TECLIM para uso racional de água na indústria: o banco de ideias no contexto da metodologia Front-End Loading. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.4, p.753-764, 2016.

OLIVEIRA, G. L.. **A metodologia TECLIM para uso racional da água na indústria: uma proposta de sistematização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

RIBEIRO, C. F.. **Contribuição à robustez da metodologia TECLIM para melhor gerenciamento hídrico: estudo de caso em uma planta de metanol**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

SILVA, V. P. R.; ALEIXO, D. O.; DANTAS NETO, J.; MARACAJÁ, K. F. B.; ARAÚJO, L. E.. Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.1, p.100-105, 2013.

SOUZA, L. S.; BRAGA, B. V. D.; KIPERSTOK, A.; KALID, R. A.; SALES, E. A.. **Balanço hídrico: uma ferramenta para gestão industrial e otimização ambiental**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25. **Anais**. Recife: ABES, 2009.

WALSH, B. P.; BRUTON, K.; O'SULLIVAN, D. T. J.. The true value of water: a case-study in manufacturing process water-management. **Journal of Cleaner Production**, v.141, p.551-567, 2017.