



DO FLUXO PRODUTIVO AO FLUXO DA ÁGUA: SEGURANÇA HÍDRICA E SUSTENTABILIDADE EM UMA INDÚSTRIA DE COMPONENTES ELETRÔNICOS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS.

From Production Flow to Water Flow: Water Security and Sustainability in an Electronic Components Industry in the Manaus Industrial Hub.

Diana Jesica Gemaque Bentes¹

Marcela Costa De Souza²

José Renato Sátiro Santiago Júnior³

Juliano Milton Kruger⁴

RESUMO

A segurança hídrica depende de informações confiáveis sobre o uso da água e a geração de efluentes. Este artigo analisa a gestão hídrica de uma indústria de componentes eletrônicos do Polo Industrial de Manaus, com aproximadamente 400 colaboradores. Por meio de estudo de caso único, pesquisa documental e revisão bibliográfica, identificaram-se os usos informados, práticas existentes e lacunas de monitoramento. O levantamento da unidade estima a distribuição de 60% do consumo em banheiros da produção, 20% na lavagem de sistemas de ar-condicionado e 20% na limpeza geral. Os números não são acompanhados de volumes absolutos, período de apuração ou memória de cálculo, de modo que não equivalem a medição setorial comprovada. Há campanhas de conscientização e torneiras com sensores em parte das instalações; tampouco foram apresentados indicadores que permitam medir os efeitos dessas medidas. O exame dos efluentes encontrou ausência de série quantitativa e de parâmetros consolidados de qualidade e destinação. Como prioridades, propõem-se inventário dos usos, medição de pontos relevantes, linha de base, registro das saídas e avaliação técnica e econômica de reuso e água pluvial. O caso indica que uma política hídrica verificável começa pelo controle do percurso da água, antes da fixação de metas de economia ou da atribuição de benefícios às intervenções.

Palavras-chave: Segurança hídrica. Gestão da água. Sustentabilidade industrial. Polo Industrial de Manaus. Eficiência hídrica.

¹ Pós graduanda em MBA em Environmental, Social and Governance (ESG) e Sustentabilidade pela Universidade do Estado do Amazonas/UEA – ESO. Orcid <https://orcid.org/0009-0008-0289-0795>

² Pós graduanda em MBA em Environmental, Social and Governance (ESG) e Sustentabilidade pela Universidade do Estado do Amazonas/UEA – ESO. Orcid <https://orcid.org/0009-0008-3179-5738>

³ Professor Doutor da Universidade do Estado do Amazonas/UEA – ESO Orcid <https://orcid.org/0009-0007-5970-9283>

⁴ Professor Doutor da Universidade do Estado do Amazonas/UEA – ESO/ Professor do Instituto Federal do Amazonas IFAM. Orcid <https://orcid.org/0000-0003-4683-8493>





ABSTRACT

Water security depends on reliable information about water use and wastewater generation. This article examines water management in an electronic components plant in the Manaus Industrial District, employing approximately 400 people. A single case study, based on documents and a literature review, identified reported uses, existing practices, and monitoring gaps. The plant's survey estimates that production-area restrooms account for 60% of the consumption considered, while air-conditioning system washing and general cleaning account for 20% each. These estimates lack absolute volumes, a reporting period, and a documented calculation method; they therefore cannot be treated as verified sector measurements. Awareness campaigns and sensor-operated taps have been reported in some facilities, but their effects have not been quantified. The available material also lacks a consolidated wastewater series and sufficient information on its quality and destination. The proposed priorities are to inventory uses, measure relevant points, establish a baseline, document wastewater streams, and assess the technical and economic feasibility of reuse and rainwater harvesting. The case shows that traceable information about water flows must precede savings targets and claims about the benefits of interventions.

Keywords: Water security. Water management. Industrial sustainability. Manaus Industrial District. Water efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A discussão torna-se ainda mais relevante quando analisada no contexto amazônico. A região é reconhecida mundialmente por sua expressiva disponibilidade de água, porém a abundância dos recursos hídricos em escala regional não significa que todas as organizações disponham de água em condições ilimitadas, regulares e adequadas ao uso. Questões relacionadas à infraestrutura urbana, sazonalidade, eventos climáticos extremos, qualidade dos mananciais, aumento das demandas e alterações no regime de chuvas podem interferir na segurança hídrica.

Por isso, empresas instaladas na Amazônia precisam considerar a água como recurso estratégico e desenvolver mecanismos capazes de reduzir desperdícios, prevenir perdas e melhorar a capacidade de resposta diante de possíveis interrupções ou restrições. No Polo Industrial de Manaus (PIM), essa necessidade ganha importância em razão da concentração de atividades industriais, da relevância econômica do polo para a região e da necessidade de conciliar desenvolvimento industrial com conservação ambiental. A SUFRAMA (2025), por meio da iniciativa ZFM+ESG, reforça a integração de aspectos ambientais, sociais e de governança à discussão sobre competitividade e sustentabilidade empresarial.

A segurança hídrica constitui uma condição essencial para a manutenção das atividades humanas, ambientais e econômicas que dependem da disponibilidade, da qualidade e da regularidade dos recursos hídricos. No ambiente industrial, esse conceito assume caráter





estratégico porque a água participa de diferentes etapas do funcionamento das organizações, seja como insumo de processos, seja nas atividades de apoio, limpeza, manutenção, climatização e atendimento às necessidades dos trabalhadores. Dessa forma, a gestão da água não deve ser tratada apenas como uma obrigação ambiental, mas como parte da gestão de riscos, da eficiência operacional e da capacidade de continuidade dos negócios.

Grey e Sadoff (2007) destacam que a segurança hídrica está relacionada à capacidade de lidar com riscos associados à escassez, à variabilidade e aos eventos extremos, enquanto a UN-Water (2013) amplia essa compreensão ao relacionar segurança hídrica à disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para diferentes necessidades. No setor industrial, essa perspectiva exige planejamento, monitoramento e prevenção, de modo que o recurso seja utilizado de maneira racional e que a organização esteja preparada para situações que possam comprometer suas operações.

A pergunta que orienta a investigação é: de que modo o reconhecimento dos usos e das lacunas de informação pode apoiar uma gestão hídrica mais segura em uma indústria de componentes eletrônicos do Polo Industrial de Manaus? A resposta exige observar atividades que sustentam a produção, embora não integrem a transformação direta do produto. Não se deve pressupor que o consumo de água se concentre no equipamento industrial apenas porque a organização atua em um setor de tecnologia.

No caso de uma indústria de componentes eletrônicos voltada à cadeia produtiva de veículos de duas e quatro rodas, essa análise é especialmente pertinente porque nem todo o consumo de água está necessariamente relacionado à transformação direta dos componentes. Atividades como uso de sanitários, refeitório, limpeza, manutenção de sistemas de climatização, limpeza de painéis solares e obras civis podem representar parcelas importantes da demanda.

O levantamento utilizado nesta pesquisa indica, como estimativa, concentração de 60% do consumo nos banheiros, 20% na lavagem de sistemas de ar-condicionado e 20% na limpeza geral. Esses percentuais, contudo, não são apresentados como medições instrumentais, pois o documento-base não disponibiliza período de medição, volumes absolutos em metros cúbicos ou memória de cálculo. A explicitação dessa limitação é necessária para preservar a confiabilidade científica do estudo e evitar que estimativas sejam interpretadas como dados medidos.





Outro aspecto importante é a compreensão da água como parte do fluxo operacional. Tradicionalmente, a análise de processos industriais concentra-se no fluxo de materiais, informações, energia e produtos. Entretanto, a inclusão do fluxo da água amplia a capacidade de identificar entradas, pontos de uso, perdas, geração de efluentes e possibilidades de redução, recirculação ou reuso. Willet et al. (2019) demonstram que a avaliação da sustentabilidade do uso industrial da água pode ser apoiada por indicadores de desempenho, contabilidade ambiental, análise de fluxos e outras ferramentas de avaliação. Essa perspectiva permite deslocar a gestão hídrica de uma visão restrita ao consumo total para uma análise mais detalhada dos locais e atividades responsáveis pela utilização do recurso. Consequentemente, o fluxo da água passa a ser observado em conexão com o fluxo produtivo e com as atividades de infraestrutura que sustentam a produção.

A gestão dos pontos de consumo também está relacionada à geração de efluentes. Cada uso da água pode produzir correntes com características distintas, exigindo formas adequadas de coleta, tratamento, monitoramento e destinação. Efluentes sanitários, águas provenientes de limpeza e resíduos líquidos associados a atividades de manutenção devem ser considerados dentro de uma visão integrada de gestão ambiental.

Quando os volumes e características dessas correntes não são acompanhados de forma sistemática, a organização perde parte da capacidade de avaliar seu desempenho ambiental e de identificar oportunidades de melhoria. Dessa maneira, a segurança hídrica não depende apenas de reduzir o volume captado ou consumido, mas também de assegurar que os usos realizados não resultem em impactos ambientais evitáveis e que os efluentes sejam adequadamente gerenciados.

O objetivo geral é analisar o fluxo da água na unidade estudada e propor prioridades de gestão compatíveis com as evidências disponíveis. Especificamente, busca-se caracterizar os usos descritos, distinguir números estimados de dados medidos, examinar a informação sobre efluentes, discutir as práticas preventivas e estabelecer uma sequência de ações capaz de permitir avaliação posterior. A pesquisa não mede a eficiência da empresa nem compara seu desempenho ao de outras organizações do PIM.

A relevância prática do estudo está na possibilidade de transformar a identificação dos pontos críticos de consumo em ações de melhoria. A relevância acadêmica está na articulação entre fluxo produtivo, gestão da água e sustentabilidade industrial em um contexto específico do PIM. A pesquisa também contribui para evidenciar uma limitação recorrente em estudos





empresariais: sem medição setorial e memória de cálculo, percentuais de consumo devem ser tratados como estimativas e não como medições.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Segurança hídrica, disponibilidade e risco

A segurança hídrica pode ser compreendida como a capacidade de assegurar água em quantidade e qualidade adequadas, de forma contínua e compatível com as necessidades da sociedade, dos ecossistemas e das atividades econômicas. Grey e Sadoff (2007) associam a segurança hídrica à redução dos riscos relacionados à água e destacam que esses riscos podem interferir no desenvolvimento econômico.

A UN-Water (2013), por sua vez, apresenta a segurança hídrica como uma condição que envolve proteção contra riscos associados à água e capacidade de garantir o acesso ao recurso para diferentes finalidades. Moura et al. (2020) mostram que o conceito evoluiu de uma compreensão centrada somente na disponibilidade para uma abordagem integrada, envolvendo vulnerabilidade, sustentabilidade, gestão e capacidade de resposta. No setor industrial, essa evolução é importante porque a água pode ser necessária tanto nas operações produtivas quanto nas atividades de suporte, e qualquer interrupção pode afetar a continuidade das atividades.

A partir dessa perspectiva, a segurança hídrica industrial pode ser organizada em três dimensões complementares: disponibilidade, controle e resiliência. A disponibilidade corresponde à garantia de acesso ao recurso em condições adequadas; o controle envolve medição, registro, identificação de perdas, gestão de consumo e controle dos efluentes; e a resiliência corresponde à capacidade de antecipar riscos e estabelecer respostas diante de eventos que possam afetar o abastecimento.

Pereira et al. (2020) destacam a importância do monitoramento e da disponibilidade de dados para a gestão integrada dos recursos hídricos, enquanto Pereira et al. (2020) discutem oportunidades de adaptação relacionadas à segurança hídrica no Brasil. Embora esses trabalhos tratem de escalas mais amplas, seus princípios podem ser aplicados à gestão empresarial: sem dados confiáveis, torna-se difícil identificar tendências, estabelecer metas ou comprovar resultados.

A distinção entre disponibilidade física e segurança hídrica tem consequências para a análise industrial. Uma fonte de abastecimento pode estar presente e, ainda assim, não oferecer previsibilidade para todas as demandas ou qualidade adequada aos usos previstos. Além disso,





a continuidade operacional depende de infraestrutura, procedimentos de monitoramento e respostas a situações de escassez ou contaminação. É sob esse prisma que o risco hídrico interessa à empresa, sem reduzir a água a simples custo de produção.

Moura et al. (2020) examinam a evolução dos conceitos de segurança e vulnerabilidade hídrica à luz da gestão integrada. A articulação entre dimensões ambientais e organizacionais reforça a necessidade de olhar tanto para o fornecimento quanto para o que ocorre após o uso. Ao interpretar a unidade estudada, adotou-se essa acepção ampla: o registro de entrada, a identificação de demandas e o conhecimento das correntes de efluentes pertencem ao mesmo problema de gestão.

2.2 Gestão ambiental e avaliação do uso industrial

A sustentabilidade industrial complementa a segurança hídrica ao propor que o uso dos recursos naturais seja compatível com a continuidade das atividades e com a redução dos impactos ambientais. Barbieri (2016) destaca que a gestão ambiental empresarial deve incorporar prevenção, controle e melhoria aos processos organizacionais. No caso da água, essa abordagem significa reduzir desperdícios, utilizar o recurso de maneira eficiente, avaliar alternativas de reuso e garantir o gerenciamento adequado dos efluentes. Tundisi e Tundisi (2015) ressaltam a necessidade de uma gestão racional dos recursos hídricos e de soluções capazes de diminuir pressões sobre os sistemas de abastecimento. Dessa forma, a sustentabilidade hídrica não se resume a uma campanha de economia de água; ela requer procedimentos, responsabilidades, indicadores, tecnologias adequadas e avaliação permanente dos resultados.

A análise do fluxo produtivo associada ao fluxo da água amplia a capacidade de identificação de oportunidades. Willet et al. (2019) apresentam diferentes métodos para avaliar a sustentabilidade do uso industrial da água, incluindo indicadores-chave de desempenho, contabilidade ambiental, análise de fluxos de materiais e energia e avaliação do ciclo de vida.

No contexto empresarial, o mapeamento do fluxo hídrico permite observar a entrada da água, os pontos de utilização, as perdas, as mudanças de qualidade, a geração de efluentes e as possibilidades de recirculação ou reuso. Essa abordagem é particularmente relevante quando o consumo ocorre em atividades de apoio, pois os maiores pontos de uso podem estar fora das etapas de transformação direta do produto. Consequentemente, a melhoria do desempenho hídrico exige olhar para toda a infraestrutura que sustenta a produção.





Os indicadores de sustentabilidade constituem uma ferramenta essencial para transformar princípios gerais em informações úteis à tomada de decisão. Nacif et al. (2023) destacam a utilização de indicadores aplicados à gestão dos recursos hídricos como instrumento de acompanhamento e apoio à decisão.

Em uma empresa, indicadores como consumo total mensal, consumo por colaborador, consumo por unidade produzida, percentual de pontos monitorados, percentual de água reutilizada, volume de efluentes e percentual de efluentes com destinação controlada podem apoiar o planejamento. Entretanto, a seleção do indicador deve estar vinculada à disponibilidade de dados e à finalidade gerencial. Um indicador sem fonte, periodicidade, responsável e método de cálculo definido pode produzir informação pouco útil. Por isso, estabelecer uma linha de base é etapa fundamental antes da definição de metas de redução.

Indicadores não substituem o diagnóstico que lhes dá origem. Uma taxa de consumo por colaborador pressupõe série de volumes e definição do contingente considerado; uma razão por unidade produzida requer padronizar o período e a quantidade fabricada. Quando faltam esses elementos, a comparação entre meses pode ser enganosa. O método de medição, a unidade adotada, as mudanças de turno e a variação da atividade precisam acompanhar cada valor divulgado.

A dimensão econômica também é relevante porque o consumo de água está associado a custos de abastecimento, manutenção de equipamentos, tratamento, energia e gerenciamento de efluentes. Medidas de eficiência podem reduzir perdas e melhorar a utilização dos recursos, mas precisam ser analisadas de maneira integrada para evitar que uma redução aparente em determinado ponto provoque impactos em outra etapa.

A sustentabilidade, portanto, deve equilibrar desempenho ambiental e viabilidade operacional. Elkington (1997), ao apresentar a abordagem do triple bottom line, contribui para compreender a necessidade de considerar conjuntamente aspectos econômicos, sociais e ambientais. No âmbito deste estudo, essa integração aproxima a gestão hídrica da agenda ESG, pois permite avaliar não somente quanto de água é consumido, mas também como a organização governa esse recurso e quais efeitos sociais e ambientais estão associados ao seu uso.

A literatura sobre monitoramento de dados hidrológicos (PEREIRA, M. A. F. et al., 2020) enfatiza a relação entre disponibilidade de informação e decisões de gestão. Embora trate de uma escala diferente da planta industrial, o argumento ajuda a compreender uma dificuldade





recorrente: sem registro sistemático, a percepção de desperdício ou eficiência permanece pouco testável. Na empresa, esse problema pode ser enfrentado com medições proporcionais às decisões que se pretende tomar.

2.3 Reuso, efluentes e seleção de alternativas

O reuso e a recirculação aparecem como estratégias possíveis para reduzir a demanda por água de melhor qualidade, especialmente quando determinadas atividades não exigem água potável. Fukasawa e Mierzwa (2020) demonstram a importância de ferramentas de apoio à decisão para identificar potenciais de reuso, reforçando que a escolha de uma alternativa deve considerar fatores técnicos, econômicos e ambientais.

A origem da água, a qualidade requerida, os tratamentos necessários, a separação das correntes, os riscos sanitários, a infraestrutura e os custos devem ser avaliados antes da implantação. Portanto, em um estudo aplicado, o reuso deve ser apresentado como oportunidade sujeita a análise de viabilidade e não como benefício automaticamente garantido.

O reuso depende da compatibilidade entre a qualidade da água recuperada e a finalidade de aplicação. Também exige identificar a origem da corrente, a variabilidade de composição e o tratamento necessário.

Fukasawa e Mierzwa (2020) empregam um método de apoio multicritério para identificar potencial de reuso em regiões metropolitanas. Não se trata de fórmula pronta para a unidade em estudo; a contribuição está em demonstrar porque uma decisão desse tipo deve explicitar critérios técnicos, econômicos e ambientais.

A água pluvial apresenta problema semelhante. O volume captável varia com a precipitação, a área efetiva de cobertura e a capacidade de armazenamento, ao passo que a demanda varia segundo a rotina da instalação. Uma proposta de aproveitamento, portanto, requer cotejar oferta e consumo ao longo do tempo, além de prever separação adequada das redes e os cuidados necessários ao uso pretendido. Sem esses parâmetros, não é possível estimar a substituição real de água fornecida à unidade.

2.4 ESG no contexto industrial amazônico

A dimensão ambiental do ESG pode ser observada no uso eficiente da água, na prevenção da poluição e no gerenciamento de efluentes; a dimensão social pode envolver conscientização, comportamento responsável e consideração dos efeitos do uso dos recursos sobre trabalhadores e comunidade; e a dimensão de governança está associada à existência de





políticas, responsabilidades, controles, indicadores, registros e processos de auditoria ou verificação. Essa integração é coerente com uma visão de sustentabilidade empresarial em que as decisões ambientais deixam de ser ações isoladas e passam a fazer parte do sistema de gestão. Assim, a gestão hídrica pode ser relacionada aos objetivos estratégicos da organização e aos processos de melhoria contínua.

No contexto do Polo Industrial de Manaus, a discussão sobre sustentabilidade hídrica deve considerar a importância econômica e tecnológica das atividades industriais e a necessidade de preservar os recursos naturais da Amazônia. A SUFRAMA (2025), por meio da iniciativa ZFM+ESG, estimula a incorporação de práticas de sustentabilidade, responsabilidade e governança no ambiente empresarial. Essa orientação cria um contexto favorável para que a água seja tratada como indicador de desempenho ambiental e como elemento de gestão de riscos. A integração com ESG permite estabelecer responsabilidades para o acompanhamento do consumo, registrar resultados, definir metas e comunicar o desempenho de maneira mais estruturada.

A literatura sobre a indústria de semicondutores também reforça a relevância da gestão hídrica em setores de alta tecnologia. Wang et al. (2023b) identificaram estratégias de reciclagem, reuso, restauração, tratamento e segregação de correntes no setor, enquanto outro estudo dos mesmos autores (2023a) apontou níveis relevantes de consumo de água e energia associados à fabricação de semicondutores.

Esses resultados não podem ser diretamente transferidos para a empresa analisada neste trabalho, pois os processos e níveis de consumo podem ser diferentes. Entretanto, servem como referência para demonstrar que indústrias tecnológicas podem incorporar a gestão da água à estratégia operacional e ambiental, combinando monitoramento, tratamento, recuperação e redução de perdas.

A comparação com o setor de semicondutores tem alcance limitado. Os estudos de Wang et al. (2023a, 2023b) examinam processos e perfis tecnológicos que não foram demonstrados na unidade de componentes eletrônicos analisada. Servem para identificar possibilidades de gestão em atividades industriais tecnológicas, como segregação de correntes e acompanhamento de consumos, mas não oferecem um parâmetro quantitativo aplicável diretamente ao caso. Essa cautela evita tomar experiências setoriais por evidência local.





3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Delineamento e unidade de análise

A unidade analisada possui aproximadamente 400 colaboradores e desenvolve atividades relacionadas à produção de componentes eletrônicos destinados à cadeia de veículos de duas e quatro rodas. Para fins desta pesquisa, não foi necessário identificar nominalmente a empresa, concentrando-se a análise no comportamento do uso da água e nas práticas de gestão observadas. O recorte considerou os principais usos identificados no levantamento: banheiros, refeitório, limpeza geral, limpeza de painéis solares, obras civis e manutenção de sistemas de ar-condicionado. Essa abrangência permitiu observar tanto atividades relacionadas ao suporte operacional quanto atividades de infraestrutura.

O procedimento técnico principal foi o estudo de caso único, complementado por pesquisa bibliográfica e pesquisa documental. O estudo de caso foi escolhido por permitir a análise aprofundada de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente separados (Yin, 2015).

A pesquisa bibliográfica possibilitou a construção do referencial sobre segurança hídrica, sustentabilidade, indicadores, reuso, fluxo da água e ESG. A pesquisa documental foi utilizada para organizar as informações internas disponibilizadas para o estudo, preservando a distinção entre dados efetivamente registrados e informações apresentadas como estimativas.

A investigação tem caráter aplicado e utiliza análise predominantemente qualitativa, com descrição de percentuais fornecidos no material da unidade. O fato de haver três proporções numéricas não caracteriza, por si, uma avaliação quantitativa de desempenho: faltam dados primários, série temporal, definição da base de cálculo e parâmetros para estimar erro. A estratégia adotada foi examinar criticamente o alcance do levantamento disponível e convertê-lo em questões operacionais que poderão ser medidas em etapa futura.

3.2 Fontes, procedimentos e categorias de análise

O levantamento original informa aproximadamente 400 colaboradores e identifica diferentes usos da água na unidade, incluindo banheiros, refeitório, limpeza geral, limpeza de painéis solares, obras civis e manutenção de sistemas de ar-condicionado. Os usos observados mostram que parcela relevante do consumo está associada a atividades de apoio e infraestrutura, e não necessariamente à transformação direta dos componentes.





A coleta das informações foi organizada em etapas. Primeiro, realizou-se o levantamento bibliográfico das referências relacionadas ao tema. Em seguida, foram analisadas as informações documentais e descritivas disponibilizadas sobre o uso da água na unidade. Posteriormente, os usos foram agrupados de acordo com sua finalidade e foram identificadas as práticas existentes de controle e conscientização.

Por fim, as lacunas foram confrontadas com os princípios apresentados no referencial teórico, permitindo construir oportunidades de melhoria e um plano de ações. Essa sequência foi adotada para evitar que a proposta de melhoria fosse elaborada de maneira genérica, buscando relacioná-la aos achados específicos do estudo.

As informações foram organizadas em quatro categorias: usos e pontos de consumo; práticas de economia e controle; geração e documentação de efluentes; oportunidades e requisitos para melhoria. Essa classificação permite apresentar o que consta dos documentos sem confundir práticas relatadas com impactos comprovados. Os textos bibliográficos fornecem definições e critérios de interpretação, mas não suprem ausência de leituras de medidores, laudos ou dados operacionais da empresa.

Na análise quantitativa, os percentuais de 60% para banheiros, 20% para lavagem de sistemas de ar-condicionado e 20% para limpeza geral foram considerados como distribuição estimada informada no levantamento. Como o documento-base não apresenta período de medição, volumes absolutos em m³, instrumentos de medição ou memória de cálculo, esses números não foram tratados como medições instrumentais. Os demais usos mencionados refeitório, limpeza de painéis solares e obras civis foram mantidos na caracterização qualitativa, mas não receberam percentuais artificiais. Essa decisão metodológica busca preservar a transparência e evitar falsa precisão.

A fonte documental não informa qual período compõe a estimativa de 60%, 20% e 20%, nem esclarece se os percentuais correspondem à totalidade das entradas da unidade ou somente aos usos selecionados. O refeitório, a limpeza de painéis solares e as obras civis também são citados, mas não recebem participação quantificada. Por esse motivo, as proporções foram mantidas como descrição do levantamento, sem extrapolação para uma distribuição exaustiva do consumo.





3.3 Limitações, critérios de interpretação e plano de melhoria

Como critério de rigor, foi mantida a separação entre dado medido, informação documental, observação qualitativa e proposta de melhoria. Essa distinção é fundamental para a confiabilidade do estudo. As recomendações de reuso, captação de água pluvial, ampliação de equipamentos economizadores e implantação de submedição não foram apresentadas como resultados já alcançados, mas como oportunidades cuja viabilidade deverá ser avaliada pela empresa. Da mesma forma, qualquer meta de redução de consumo deverá ser revisada após a obtenção de uma série histórica confiável.

Os dados foram interpretados de forma descritiva e comparativa em relação aos fundamentos do referencial teórico. A análise não pretendeu extrapolar os resultados para todas as empresas do Polo Industrial de Manaus, pois se trata de um estudo de caso único. Também não foram realizadas medições instrumentais adicionais durante esta etapa da pesquisa. Assim, as conclusões quantitativas restringem-se aos percentuais disponibilizados no levantamento e as demais conclusões são de natureza qualitativa e propositiva.

Para organizar as oportunidades identificadas, foram utilizados princípios de melhoria contínua e a ferramenta 5W2H. O 5W2H foi aplicado para definir o que deve ser realizado, por que a ação é necessária, onde será executada, quem será responsável, quando deverá ser concluída, como será implementada e qual recurso poderá ser necessário. As metas foram formuladas como propostas, devendo ser validadas pela organização após a implantação de uma linha de base. Essa ressalva é importante porque metas de redução de consumo não devem ser estabelecidas sem conhecer o comportamento real da demanda.

O plano 5W2H foi empregado como instrumento de organização das recomendações, não como comprovação de implantação. A indicação de responsáveis, prazos e recursos depende de decisão da organização e não foi presumida pelos pesquisadores. Propõem-se etapas e verificadores mínimos que poderão ser incorporados à rotina: definição da origem de cada dado, periodicidade de coleta, pessoa responsável pela conferência e registro das eventuais mudanças de método.

A etapa de verificação foi estruturada por meio de indicadores propostos, como percentual de pontos prioritários medidos, registros mensais de consumo, conclusão de estudos de viabilidade para reuso e água pluvial, percentual de pontos críticos com equipamentos economizadores e percentual de efluentes com registro de volume e destinação. A definição desses indicadores procura garantir rastreabilidade e permitir que a organização avalie a





evolução do plano. Após a implantação, os resultados podem ser analisados pelo ciclo PDCA, utilizando a etapa Plan para estabelecer a linha de base e as metas; Do para executar as ações; Check para verificar os resultados; e Act para padronizar, corrigir ou revisar as medidas adotadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição informada e alcance dos percentuais

A distribuição apresentada no levantamento sugere concentração do consumo em usos de apoio. Banheiros da produção figuram como principal item, com 60%; a lavagem dos sistemas de ar-condicionado e a limpeza geral recebem 20% cada. A tabela 1 conserva os percentuais tal como informados e registra sua natureza estimada.

Tabela 1 – Distribuição estimada de usos da água na unidade

Uso ou setor	Participação informada	Natureza do registro
Banheiros da produção	60%	Estimativa documental
Lavagem de sistemas de ar-condicionado	20%	Estimativa documental
Limpeza geral	20%	Estimativa documental

Fonte: elaboração própria com base no levantamento da unidade.

Embora a soma dos percentuais alcance 100%, não se conhece o conjunto de usos tomado como denominador. Outros pontos aparecem no material, mas sem números; também não há volume total de referência. Não é metodologicamente adequado concluir que todos os usos da empresa foram captados pela tabela. O resultado autoriza identificar prioridades para verificação, especialmente os banheiros, e não estabelecer uma hierarquia definitiva do consumo real.

Há uma diferença prática entre verificar um medidor principal e atribuir consumo a uma área. O primeiro registro pode revelar a evolução do volume total, desde que realizado regularmente. A atribuição por setor depende de submedidores, de medições temporárias ou de procedimento de estimativa documentado, com hipóteses explicitadas. Até que uma dessas condições se cumpra, metas setoriais precisas e alegações de redução percentual carecem de base.

Os resultados indicam que a água, embora não seja necessariamente o principal insumo de todas as etapas de transformação dos componentes, possui relevância para o funcionamento





da unidade estudada. A concentração estimada do consumo nas áreas de apoio, especialmente banheiros, lavagem de sistemas de ar-condicionado e limpeza geral, demonstra que a gestão hídrica precisa considerar o conjunto de atividades que sustenta a produção. Essa constatação reforça a importância de analisar o fluxo da água para além do processo produtivo estrito, incluindo infraestrutura, manutenção e serviços de apoio.

4.2 Práticas existentes e possibilidade de avaliação

A análise qualitativa concentrou-se na identificação das práticas existentes, dos mecanismos de controle e das lacunas que podem afetar a segurança hídrica. Foram consideradas como práticas positivas as campanhas de conscientização para redução de desperdícios, a aplicação dos princípios dos 4 Rs (reduzir, reutilizar, reciclar e repensar) e a utilização de torneiras com sensores em parte das instalações. Essas ações foram interpretadas como mecanismos preventivos, mas não como evidência de economia quantitativa já comprovada. Para demonstrar ganhos efetivos, seria necessário comparar uma linha de base com resultados posteriores, utilizando dados mensuráveis e rastreáveis.

As campanhas e os sensores constituem sinais de atenção à eficiência, mas a presença da tecnologia não informa automaticamente quanto se economizou. Para examinar seu efeito seria necessário conhecer o consumo anterior, a extensão da instalação, o estado de manutenção e o padrão de uso dos ambientes. Um indicador simples pode acompanhar os pontos equipados, enquanto a avaliação de impacto exige uma comparação temporal que leve em conta mudanças na produção e no número de usuários.

O registro sistemático pode começar sem um sistema complexo. Leituras mensais com data, unidade e identificação do equipamento já permitem examinar variações e checar incoerências. Se um ponto apresentar crescimento persistente, uma inspeção localizada terá mais utilidade do que uma campanha genérica dirigida a toda a instalação. Esse encadeamento entre observação, investigação e medida corretiva aproxima o discurso da melhoria contínua de decisões efetivamente verificáveis (Barbieri, 2016).

4.3 Efluentes e lacunas de rastreabilidade

Os usos identificados produzem diferentes correntes de efluentes, com destaque para efluentes sanitários e águas residuárias associadas a atividades de limpeza e manutenção. O documento-base não apresenta volume de efluentes gerados, resultados analíticos de qualidade,





vazão média ou percentual de tratamento/reuso. Assim, esta pesquisa não permite afirmar quantitativamente a magnitude da geração ou a eficiência do tratamento.

O levantamento dos pontos de consumo deve ser acompanhado pela identificação das saídas. As correntes associadas a sanitários, limpeza e manutenção podem apresentar características diferentes; não é seguro supor tratamento idêntico ou destinação comum sem verificar a infraestrutura e os registros. O material disponibilizado não traz análise de qualidade, volume consolidado, vazão média ou informação suficiente sobre tratamento. Desse modo, não se atribui ao empreendimento eficiência de remoção nem se afirmar redução de carga poluidora.

Uma ficha por corrente, com local de geração, finalidade original da água, frequência da atividade, forma de coleta e destinação informada, reduziria a lacuna inicial. Em etapa seguinte, parâmetros analíticos e procedimentos de controle poderão ser definidos de acordo com as características de cada efluente e com os requisitos aplicáveis à unidade. Essa sequência evita recomendar tratamento específico sem conhecer a composição do líquido a ser manejado.

4.4 Prioridades de gestão e alternativas condicionadas

Tabela 2 – Diagnóstico e prioridades de ação

Aspecto	Situação evidenciada	Providência proposta
Medição setorial	Ausência de memória de cálculo	Mapear medidores e estabelecer método de leitura
Reuso	Sistema estruturado não demonstrado	Estudar correntes, usos compatíveis e custos
Água pluvial	Aproveitamento sistemático não demonstrado	Examinar demanda, cobertura e armazenamento
Dispositivos	Sensores em parte das torneiras	Inventariar pontos e avaliar manutenção
Efluentes	Sem série quantitativa consolidada	Registrar origem, volume e destinação

Fonte: elaboração própria

A primeira fase proposta consiste em inventariar usos, pontos de captação e equipamentos de medição. A segunda corresponde à construção de uma série histórica, com registro das condições de operação em cada período. Só então se justifica fixar metas ou selecionar pontos para investimentos. A possibilidade de reuso ou aproveitamento pluvial deve ser examinada em estudo específico, com demanda identificada, qualidade exigida, riscos, custo de implantação e rotina de manutenção.

O 5W2H pode traduzir esse percurso em responsáveis e entregas verificáveis. Para o inventário, por exemplo, deve-se explicitar quem registrará cada ponto, onde se localiza,





quando será conferido e como divergências serão tratadas. Para os efluentes, a tarefa inicial é documentar as correntes, antes de estimar qualquer índice de tratamento. O ciclo PDCA oferece um procedimento posterior de revisão: planejar com dados, executar medidas definidas, confrontar resultados com a linha de base e corrigir o que não produziu o efeito esperado.

As práticas de conscientização e a utilização de torneiras com sensores constituem medidas coerentes com uma abordagem preventiva. Entretanto, sua efetividade deve ser acompanhada por indicadores capazes de demonstrar resultados. Da mesma forma, o reuso e o aproveitamento de águas pluviais representam oportunidades, mas dependem de avaliação técnica e econômica. Fukasawa e Mierzwa (2020) ressaltam a importância de critérios de decisão para selecionar alternativas de reuso, evitando que a solução seja adotada sem considerar qualidade da água, tratamento, infraestrutura, riscos e custos.

4.5 Implicações para a segurança hídrica e a governança

No contexto do Polo Industrial de Manaus, a integração da gestão hídrica à agenda ESG amplia a relevância dos resultados. A iniciativa ZFM+ESG da SUFRAMA (2025) demonstra a importância de incorporar sustentabilidade e governança à competitividade empresarial. Nesse cenário, indicadores de água podem apoiar a dimensão ambiental, enquanto responsabilidades definidas, registros, metas e verificação fortalecem a governança. O envolvimento dos colaboradores nas campanhas de conscientização também contribui para a dimensão social. Assim, a gestão hídrica pode ser consolidada como parte do sistema de gestão e não apenas como uma ação ambiental pontual.

Na dimensão ambiental, o registro de volumes e efluentes permite identificar desvios e definir intervenções. Na dimensão social, a participação de trabalhadores torna mais provável a detecção de vazamentos e usos inadequados, embora conscientização, por si, não seja indicador de redução. A governança aparece na atribuição de responsabilidade pelo dado, na possibilidade de auditoria das decisões e na comunicação honesta das limitações. Em especial, percentuais estimados devem permanecer identificados como tais em relatórios internos e externos.

Há, por fim, uma relação entre segurança hídrica e continuidade operacional que o caso permite formular, mas ainda não quantificar. Conhecer a demanda por atividade facilitaria a priorização de usos diante de interrupções do abastecimento; registrar as saídas ajudaria a antecipar riscos ambientais. O levantamento atual indica o caminho dessa avaliação. Não





fornece, entretanto, elementos para calcular probabilidade de interrupção, custo evitado ou resiliência já alcançada pela organização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do caso mostra que o fluxo da água ultrapassa o processo de fabricação de componentes: instalações sanitárias, limpeza e manutenção integram as condições materiais de funcionamento da unidade. O levantamento atribui a esses três usos, respectivamente, 60%, 20% e 20% do consumo considerado. Como faltam período, volume absoluto e memória de cálculo, os números orientam inspeções, mas não demonstram uma distribuição setorial medida.

O resultado mais importante é a identificação de uma lacuna de rastreabilidade. Campanhas e torneiras com sensores já foram descritas, mas não há base para quantificar a economia associada. A documentação sobre efluentes tampouco permite medir geração, verificar qualidade ou avaliar tratamento. Por isso, o plano de melhoria começa pelo inventário, pela medição e pelo registro das saídas; reuso e água pluvial permanecem alternativas sujeitas a avaliação de viabilidade.

Recomenda-se consolidar, quando tecnicamente possível, pelo menos doze meses de leituras mensais, acompanhadas de informações sobre número de usuários e nível de atividade. Com essa linha de base, a organização poderá examinar indicadores proporcionais às suas decisões, definir metas justificáveis e reavaliar a estimativa inicial. O mesmo cuidado deve orientar o controle de efluentes, com identificação das correntes e documentação de sua destinação.

O estudo se restringe a uma empresa e depende das informações documentais disponíveis, sem medições instrumentais complementares. Não permite generalizar a composição do consumo para outras indústrias do PIM nem demonstrar ganhos ambientais ou econômicos já obtidos. Sua contribuição aplicada é estabelecer uma ordem verificável para transformar percepções sobre o uso da água em decisões de gestão, com as limitações dos dados à vista.





REFERÊNCIAS

BARBIERI, José Carlos. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

FUKASAWA, Bruno Nogueira; MIERZWA, José Carlos. Identification of water reuse potential in metropolitan regions using the Analytic Hierarchy Process. *Environmental and Sustainability Indicators*, v. 8, 100064, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100064>.

GREY, David; SADOFF, Claudia. Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, v. 9, n. 6, p. 545-571, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>.

MOURA, Micaella Raíssa Falcão de et al. Segurança e vulnerabilidade hídrica: evoluções conceituais à luz da Gestão Integrada e Sustentável. *Ciência & Trópico*, v. 44, n. 1, 2020. DOI: [https://doi.org/10.33148/cetropicov44n1\(2020\)art6](https://doi.org/10.33148/cetropicov44n1(2020)art6).

NACIF, Thaís; FERREIRA, Maria Inês Paes; OLIVEIRA, Daniela Bogado Bastos de; SILVA, Simone Vasconcelos. Indicadores de sustentabilidade aplicados à gestão de recursos hídricos: uma revisão sistemática. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, v. 17, n. 2, p. 31-46, 2023. DOI: <https://doi.org/10.19180/2177-4560.v17n22023p31-46>.

PEREIRA, Marco Alésio Figueiredo et al. Importance of monitoring and availability of hydrological data for integrated water resources management. *Sociedade & Natureza*, v. 32, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-43458>.

SUFRAMA. Iniciativa ZFM+ESG. Superintendência da Zona Franca de Manaus, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/suframa/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/capa/zfm-esg/capa>. Acesso em: 11 set. 2026.

UN-WATER. Water security and the global water agenda. New York: United Nations, 2013.

WANG, Qi et al. Environmental data and facts in the semiconductor manufacturing industry: an unexpected high water and energy consumption situation. *Water Cycle*, v. 4, p. 47-54, 2023a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2023.01.004>.

WANG, Qi et al. Water strategies and practices for sustainable development in the semiconductor industry. *Water Cycle*, v. 4, p. 12-16, 2023b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2022.12.001>.





WILLET, Joeri; WETSER, Koen; VREEBURG, Jan; RIJNAARTS, Huub H. M. Review of methods to assess sustainability of industrial water use. *Water Resources and Industry*, v. 21, 100110, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100110>.

YIN, Robert K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.



Este trabalho está licenciado sob a **Creative Commons Atribuição–Não Comercial (CC BY-NC)**.]

É permitida a reprodução, distribuição e adaptação do conteúdo para fins não comerciais, desde que seja atribuída a autoria e indicada a fonte original.