

GESTÃO DE PERDAS DE ÁGUA: METODOLOGIAS E ESTRATÉGIAS PARA UM PLANO EFETIVO EM LAVRAS DA MANGABEIRA- CE.

Alyne Gessick Pinheiro da Silva Lima⁽¹⁾

Técnica Operacional na Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece). Doutoranda em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF).

Renato de Sousa Silva⁽²⁾

Coordenador de Operações Industriais na Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

Robson de Araújo Silva⁽³⁾

Coordenador de Serviços e Expansão na Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

Endereço⁽¹⁾: Rua José Andrade de Lavor, 2615 - Romeirão – Juazeiro do Norte – Ceará. Rua/Av. Nome do Logradouro, Número do Logradouro e/ou Complemento - Bairro - Cidade - Estado - CEP: 63051-240 - Brasil - Tel: +55 (88) 9 9788-0702 - e-mail: alynegessick@gmail.com.

RESUMO

A crise hídrica e a crescente restrição de acesso à água potável em quantidade que atenda a demanda, forçam as concessionárias e o governo a construírem estratégias para enfrentamento das perdas de água nos sistemas de abastecimento. Atualmente, a redução de perdas é um dos principais desafios das operadoras de água em países em desenvolvimento. Neste sentido, o presente estudo está voltado para realização de análise do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) de Lavras da Mangabeira no estado do Ceará, desde a captação até a distribuição, com objetivo de identificar os problemas operacionais e buscar alternativas para solucioná-los, buscando reduzir ocorrências de paralisação e garantir o abastecimento adequado à população. Para tanto, foi utilizada metodologia da análise de causa raiz, revisões bibliográficas e diagrama de ishikawa, para montagem de plano de ação. A construção desta análise foi realizada no período de 04/2023 a 04/2024. A coleta dos dados foi realizada com base nos volumes e indicadores disponíveis para este sistema de abastecimento. De acordo com as análises realizadas, identificou-se que as ações de melhoria na operação na adutora foram eficientes, mas que o maior gargalo das perdas está concentrado na rede de distribuição.

PALAVRAS-CHAVE: perdas; sistema de abastecimento de água; eficiência.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios das operadoras de água em países em desenvolvimento é reduzir as perdas em todas as etapas do processo de seu fornecimento. As perdas de água em um sistema de abastecimento podem ocorrer de várias formas, como perdas nas tubulações de água bruta, no tratamento, vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição, vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição e vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição) (ABES, 2013).

O World Bank (2023), definiu um limite técnico para perdas, que são as "perdas inevitáveis", ou seja, o mínimo definido pelo alcance das tecnologias atuais dos materiais, ferramentas e equipamentos, em outras palavras, nunca haverá perda zero, sempre teremos que conviver com algum volume perdido, por mais bem implantado e operado que seja um sistema de abastecimento. Dessa forma, não é economicamente viável eliminar completamente toda a perda de água física e comercial de um sistema, mas é razoável que a quantidade de perdas precisa ser reduzida. Para isso é necessário identificar onde estão os maiores índices e como se pode trabalhar de forma objetiva para que as ações sejam efetivas com base na economicidade e eficiência.

O nível de perdas no Brasil reduziu de 45,6% no ano de 2004, para 37,78% em 2022, uma queda de 7,82 pontos percentuais no período de 18 anos (SNIS, 2023). Estes números refletem uma redução de apenas 0,43

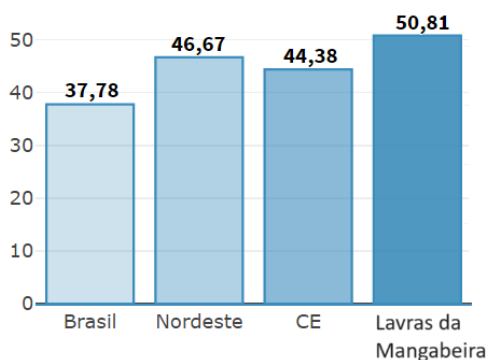
pontos percentuais ao ano. Assim, os indicadores de perda de água das operadoras de saneamento no Brasil mostram que ainda há muita ineficiência na produção da água.

O quadro é ainda mais preocupante porque a maior parte das empresas ainda não medem suas perdas de água de maneira consistente (ABES, 2013), pois este é um dos principais métodos para identificar onde estão as perdas e dessa forma encontrar estratégias para trabalhar na sua redução.

De acordo com a ABES (2013), os custos para enfrentamento do desperdício de água são elevados, seus custos são fixos e variáveis. Os custos fixos estão ligados a implantação do projeto, já os custos variáveis são aqueles que precisam ser realizados durante toda a operação do sistema. A redução de perdas pode ser alcançada de várias formas, como: instalação de equipamentos, automação, bombas, conexões, tubulações, reservatórios, medidores, hidrômetros, zoneamento, válvulas redutores de pressão, substituição de ramais e redes, tecnologia para identificação de vazamentos não visíveis, reparo de vazamentos e combate a fraudes, etc. Além dos itens citados, a mão-de-obra qualificada, e uma gestão responsável são essenciais para que toda essa estrutura opere da melhor forma e que as identificações de falhas sejam vistas e corrigidas.

A redução do desperdício gera redução de água produzida, e conseqüentemente redução de custos na produção. Indica-se abaixo os valores médios de perdas do Brasil, afunilando até o município foco deste estudo.

Figura 01 – Panorama do percentual médio de perdas (%)



Fonte: SNIS (2023)

O Plano Nacional de Saneamento Básico definiu em 2019 que as perdas do país teriam que cair para 31% até 2033, já para o Nordeste a meta é de 33%. Para atingir esse valor, com base no panorama apresentado, o Nordeste precisaria de uma redução de 1,52% ao ano, quase 3 vezes o valor da média que vem atingindo, configurando assim um grande desafio para o setor. Lavras da Mangabeira possui perda de 50,81%, o que significa 13,03% acima da média nacional e 6,43% acima da média estadual, uma condição delicada e que necessita de atenção.

Garantir o abastecimento contínuo e em quantidade adequada, é essencial para atender às necessidades básicas da população, assim como a manutenção das atividades econômicas. Neste contexto, devido ao município de Lavras da Mangabeira apresentar elevado número de perda, acima da média para o Ceará, optou-se por realizar um estudo minucioso das principais causas e como se poderia trabalhar de forma a atingir maior eficiência com menor custo e tempo possível.

2. OBJETIVO

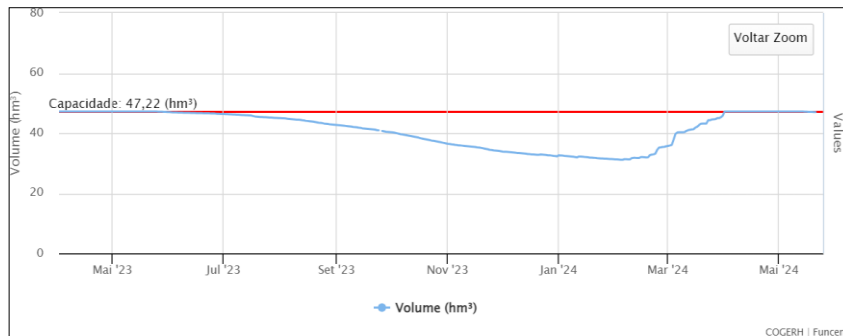
Identificar possíveis estratégias de melhorias a serem implementadas no sistema de abastecimento de Lavras da Mangabeira, objetivando a redução de perdas e melhoria no abastecimento.

3. METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

O município de Lavras da Mangabeira está inserido na Unidade de Negócio Bacia do Salgado - UN- BSA. Atualmente a concessão dos serviços é de responsabilidade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE. A captação da água bruta é realizada através do manancial superficial, Açude Rosário, que tem capacidade de armazenar um total de 47,22 hm³ de água. Este, encontra-se hoje, com 99,60% da sua capacidade total, conforme Figura 02 (COGERH, 2024).

Figura 02 – Volume de armazenamento do Açude do Rosário

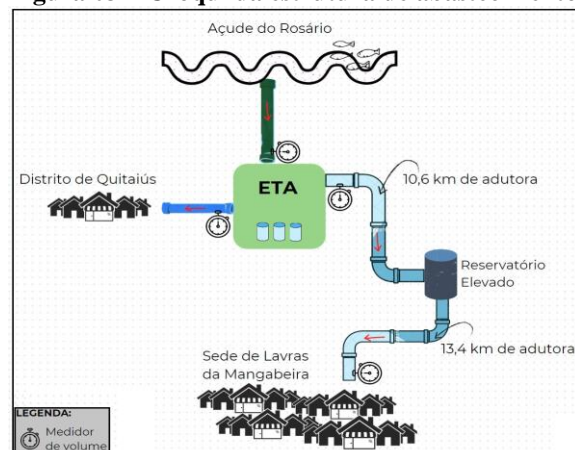


Fonte: COGERH (2024)

A Estação de Tratamento de Água (ETA) responsável pelo abastecimento de Lavras da Mangabeira está localizada no distrito de Quitaiús. A ETA abastece este distrito, a sede do municipal e uma comunidade rural operada pelo SISAR (Sistema Integrado de Saneamento Rural).

A captação da água no açude do Rosário é realizada através de um conjunto flutuante equipado com dois conjuntos motor-bomba que recalca a água até a ETA. A Estação de Tratamento de Água é composta por 04 (quatro) floculadores, 02 (dois) decantadores e 05 (cinco) filtros em fibra de vidro, com escoamentos descendentes, com vazão máxima de tratamento, conforme projeto, de 147 m³/h. O cloro gasoso é utilizado como agente desinfetante, já os coagulantes são policloreto de alumínio a 23% e como auxiliar de coagulação utiliza-se polímero em pó floculante. A ETA possui boa eficiência de tratamento e atende aos padrões estabelecidos pela legislação GM/MS n° 888/2021 (CAGECE, 2024). Abaixo o croqui do sistema para melhor compreensão da estrutura:

Figura 03 – Croqui da estrutura de abastecimento



Fonte: Autor (2024)

Após ser tratada na ETA, a água é distribuída para o distrito de Quitaiús através de uma saída individual por gravidade. Em outra saída, por uma adutora de 24km, de diâmetro de 250 mm, leva água até a sede de Lavras da Mangabeira. O primeiro trecho de 10,6 km, é bombeado até o reservatório elevado, após este, segue gravitacionalmente até sede municipal.

3.2 Métodos

Para análise deste caso, utilizou-se de ferramenta como análise de causa raiz (RCA). Este é um método que se refere a qualquer processo sistemático que identifica fatores que contribuíram para um determinado evento de interesse (evento foco). A RCA é realizada com o entendimento de que os eventos são abordados através da compreensão das causas raízes, e não dos sintomas imediatamente óbvios. Esta análise visa revelar as causas profundas para que a probabilidade da sua ocorrência ou o seu impacto, caso ocorram, possam ser alterados. A RCA é usada para analisar um evento foco que ocorreu e, portanto, analisa o passado (a posteriori). Contudo, o conhecimento das causas raízes dos acontecimentos passados pode levar a ações que gerem melhorias no futuro (IEC, 2015). De acordo com o IEC, a RCA deve seguir os seguintes processo:

- 1 - Iniciação (conhecimento atual);
- 2 - Estabelecimento dos Fatos (coleta de dados);
- 3 - Análise (aplicação de ferramentas específicas);
- 4 - Validação (dados adicionais e testagem);
- 5 - Apresentação dos resultados (possíveis soluções).

Para identificação dos dados necessários para análise, foram realizadas reuniões do tipo brainstorming, com os técnicos ligados à área e também com os operadores locais, buscando identificar todos os problemas do sistema. A partir disso, passou-se a realizar o acompanhamento de todas as ocorrências operacionais e suas possíveis causas, possibilitando o mapeamento de trechos críticos. Foi realizado ainda um levantamento de dados de volume, paralisações e indicadores no período de abril de 2023 a abril de 2024.

Para realização dessas análises foram coletados dados mensais de:

- ✓ Vazão de tratamento;
- ✓ Volume produzido para comercialização;
- ✓ Volume macromedidos de saída e entrada;
- ✓ Volume exportado;
- ✓ Índice de continuidade no abastecimento (ICAA);
- ✓ Índice de perdas na distribuição.

Uma das ferramentas utilizadas para análise no planejamento das ações foi o diagrama de ishikawa. O diagrama de ishikawa consiste em uma ferramenta em uma forma gráfica, usada como análise para representar fatores de influência (causas) sobre um determinado problema (efeito). O objetivo desta ferramenta é a análise das operações dos processos produtivos, evidenciando causas que conduzem a determinados efeitos (MIGUEL, 2001).

Devido à quantidade de possíveis problemas, foi realizada uma filtragem dos dados que mostravam ter maior impacto, para assim agir de forma prioritária através da utilização da teoria do Diagrama de Pareto (80/20). O princípio de Pareto (também conhecido como regra do 80/20, lei dos poucos vitais ou princípio de escassez do fator) afirma que, para muitos eventos, aproximadamente 80% dos efeitos vêm de 20% das causas. O objetivo desta metodologia é que através das análises dos dados, é possível determinar onde os esforços devem ser concentrados, para assim focalizar na melhoria (PARETO, 1971).

O presente trabalho se propôs a realizar a caracterização por área, de forma a proporcionar uma visão global e sistêmica, bem como possibilitar a identificação e peculiaridade regional e setorial, buscando trabalhar de forma objetiva na resolução dos problemas. A metodologia proposta pretende identificar as causas, prever ocorrências, melhorar a eficiência operacional e embasar a tomada de decisões, melhorando assim a qualidade do serviço, gerando aprendizado organizacional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O local onde a adutora foi construída é um terreno de micaxistos, quartzitos e metavulcanitos e rochas calcissicálitas (CPRM, 2003). Terrenos com essa característica, precisam ter um projeto bem elaborado com execução precisa, pois além do terreno pedregoso, há um significativo desnível. Quando já se tem a instalação do sistema de adução, que é o caso de Lavras da Mangabeira, é necessário que sua operação esteja correta para que as pressões não ultrapassem a de projeto, vindo a causar o rompimento da adutora. Além disso, é preciso que haja limpeza e manutenção periódicas das instalações (PERRONI et. al., 2011).

No trajeto da adutora, podem ocorrer problemas devido à existência de subidas ou descidas muito íngremes, em que o dimensionamento incorreto pode gerar um problema conhecido como bloqueio de adutoras, que consiste na paralisação do escoamento ocasionada pela existência/entrada de ar confinado nos pontos altos. Outro cuidado necessário para esses casos é a necessidade de ancoragem dos tubos e colchões de areia para que se evite rompimentos e movimentações bruscas da tubulação (ZOCOLER et. al., 2006).

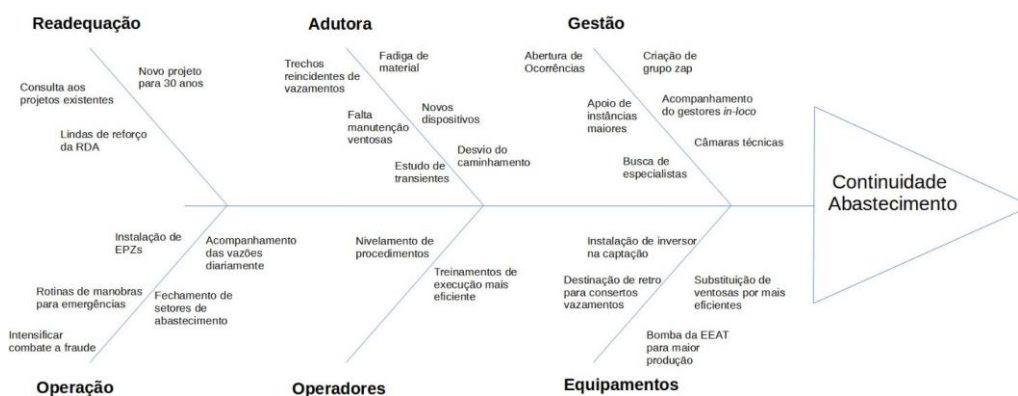
Em trechos longos, um problema comum são as ligações clandestinas, esse aspecto sanitário também não pode ser esquecido pelo projetista devendo ser adicionado uma vazão extra na adutora. Em períodos de grandes estiagens, é comum que moradores da zona rural realizem ligações clandestinas nas linhas adutoras, o que gera perdas na vazão e alteração dos transientes hidráulicos (CARVALHO, 2004).

Para realizar o projeto do traçado definitivo da adutora, recomendam-se atividades essenciais como a escolha da melhor alternativa do traçado; levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral; sondagens de terreno para obtenção de informações geotécnicas sobre o subsolo, etc. A elaboração do perfil do terreno é importante para diminuir os custos de implantação das adutoras, neste sentido deve-se evitar traçado onde o terreno é rochoso, pantanoso e de outras características não adequadas (ABARCA, 2018).

A Cagece recebeu a obra e iniciou a operação sem conhecimentos específicos de como havia sido realizada sua construção, pois esta foi executada por outra empresa. Após anos de problemas na operação desta adutora, optou por fazer uma investigação mais aprofundada para compreender as causas das frequentes quebras no trecho. De acordo com a metodologia proposta neste trabalho, realizou-se a análise do projeto inicial e a verificação/consistência das informações em campo. Com isso, perceberam-se alguns pontos relevantes e divergentes do projeto, como: ausência de colchão de areia; o traçado informado no projeto não foi seguido em campo; a topografia do terreno não coincidiu com os dados em campo; a escolha do traçado em locais íngremes e dentro de lagoas/passagens molhadas que poderiam e deveriam ser evitados; ausência de alguns dispositivos de proteção como ventosas em locais elevados; e instalação de ventosas de baixa performance que não atuam de forma eficiente.

Através destas constatações o grupo de trabalho elaborou o diagrama de ishikawa contendo sugestões e alternativas para enfrentamento do problema, conforme descrição da Figura 04.

Figura 04 – Diagrama de Ishikawa



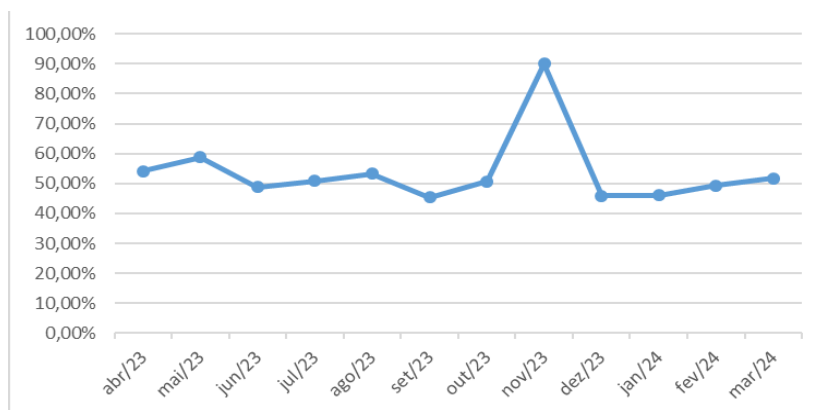
Fonte: Autor (2024)

Com este grande desafio em mãos foi traçado um plano de melhoria para que sua implementação fosse aplicada sem que o sistema fosse paralisado por muito tempo. Dentre as atitudes tomadas, as principais foram mapear os locais onde havia maiores ocorrências de quebra, com isso as seguintes medidas/procedimentos foram realizadas, a partir de mês de outubro de 2023:

- ✓ Instalação de colchão de areia com a adutora em carga;
- ✓ Substituição de 17 ventosa de baixa para alta performance;
- ✓ Substituição de 5 km de adutora por material novo e seguindo um novo traçado;
- ✓ Substituição de trecho que passava por dentro do rio, colocando-o por cima da ponte;
- ✓ Realização minuciosa de ocorrência de fraudes, foram identificadas em torno de 4 grandes fraudes na zona rural, com reincidência. Com estas constatações, foram registrados boletins de ocorrências e comunicado oficialmente ao Ministério Público, além da designação de uma equipe de fiscalização que percorre com frequência o trecho;
- ✓ Manutenção preventivas e corretivas com frequência mensal em todas as ventosas do trecho;
- ✓ Instalação de ventosas em trechos íngremes onde não havia equipamento de proteção.

Foi verificado que as ações geraram ótimos resultados referente a quantidade de ocorrências de paralisação da adutora. Com as referidas ações, também foram verificados os percentuais de perdas totais (que inclui a distribuição e a adutora), com a expectativa de que os valores de perdas tivessem redução devido às melhorias realizadas e a redução de quebras na adutora.

Figura 05- Percentual de Perdas Totais no Sistema de Abastecimento

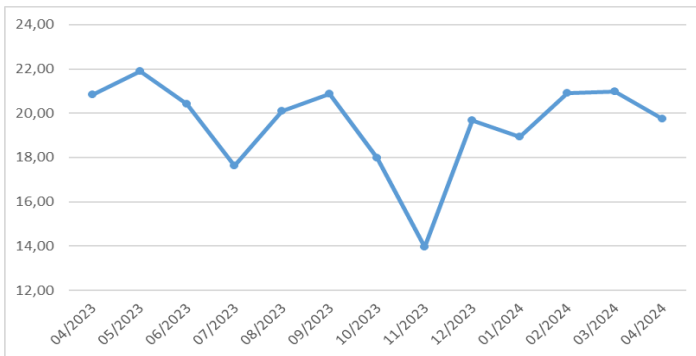


Fonte: Cagece (2024)

Mesmo com o enorme investimento realizado em melhorias na adutora, para surpresa da análise não houve significativas reduções no valor de perdas totais do sistema. No entanto, no mês de novembro/2023 observou-se um ponto de perdas muito acima da média, atingindo 90,45%. Neste mês ocorreram paralisações no abastecimento decorrente de rompimento na adutora e interrupção do fornecimento de energia elétrica na captação e ETA. Com isso, houve o cancelamento do faturamento. A ausência deste pagamento gerou um consumo acima da média pelos clientes, aumentando consequentemente as perdas na distribuição. Este dado nos mostra que a cobrança pelo uso da água é um item indispensável no controle do consumo, uso racional e consequentemente redução do valor de perdas.

Para identificar como se comportou o abastecimento dos clientes no período do estudo, foi realizado o levantamento do tempo de abastecimento, através do indicador Índice de Continuidade de Abastecimento de Água (ICAA). Este índice contabiliza a quantidade de tempo de paralisações devido a ocorrência, realização de manobras, dentre outros, assim como cálculo da média de tempo de abastecimento por ligação. Nesta análise, quanto mais próximo de 24 horas, melhor o valor do indicador.

Figura 06 - Índice de Continuidade de Abastecimento de Água (ICAA) de Lavras da Mangabeira



Fonte: Cagece (2024)

Ao verificar os números do ICAA percebe-se uma queda significativa no mês de novembro/2023. O valor reduzido justifica o cancelamento do faturamento devido a descontinuidade do abastecimento acima da média. O cálculo da média do ICAA no período dos doze meses estudados é de 19,53 horas. A Agência Reguladora do Estado do Ceará (ARCE), na resolução nº 207 de 2016, estabelece os seguintes valores de referência para o indicador:

- Excelente ≥ 23 h/dia/ligação;
- Bom ≥ 18 h/dia/ligação e < 23 h/dia/ligação;
- Mediano ≥ 12 h/dia/ligação e < 18 h/dia/ligação;
- Ruim < 12 h/dia/ligação.

Com base nos valores da resolução, o ICAA da cidade possui uma média entre mediano e bom, mesmo com as ocorrências de paralisações vivenciadas no período inicial deste estudo. A partir do mês de dezembro de 2023 percebe-se que o valor está se mantendo acima de 18h/dia/ligação, o que configura um valor bom, de acordo com a Arce. Este valor pôde ser alcançado devido a redução das paralisações por rompimento da adutora, o que revela resultados positivos advindos das melhorias implementadas.

Na busca de compreender como melhorar os números de perdas, apesar de não haver um indicador específico de análise por trecho (neste caso a adutora), foi possível através do detalhamento dos dados de cada medidor (indicados na Figura 03) gerar um dado específico de perdas apenas no trecho de 24 km ao longo da adutora, sem contabilizar as perdas na rede de distribuição, conforme pode ser verificado na Figura 06, abaixo.

Figura 06 –Volumes mensais por medidor

		A	B	C	D		
	Vazão produzida	Saída ETA	Saída Quitaiús	Chegada Lavras da Mangabeira	C + B	A - D	Percentual de Perda no trecho ETA - Lavras
Unidade	m ³ /h	m ³ /mês	m ³ /mês	m ³ /mês	m ³ /mês	m ³ /mês	%
04/2023	136,92	87.603,00	8.639,00	62.946,00	71.585,00	16.018,00	18,28
05/2023	135,23	96.475,00	8.721,00	77.252,00	85.973,00	10.502,00	10,89
06/2023	138,22	89.354,88	9.119,88	68.059,00	77.178,88	12.176,00	13,63
07/2023	138,44	89.726,93	9.743,93	67.679,00	77.422,93	12.304,00	13,71
08/2023	142,97	99.249,22	10.379,22	69.610,00	79.989,22	19.260,00	19,41
09/2023	140,84	91.150,47	10.541,47	68.969,00	79.510,47	11.640,00	12,77
10/2023	140,31	97.655,34	11.545,34	80.090,00	91.635,34	6.020,00	6,16
11/2023	142,05	93.508,74	10.415,74	72.710,00	83.125,74	10.383,00	11,10
12/2023	149,32	97.416,33	10.362,33	80.169,00	90.531,33	6.885,00	7,07
01/2024	149,82	93.449,67	9.525,67	69.456,00	78.981,67	14.468,00	15,48
02/2024	144,43	90.185,02	8.966,02	73.359,00	82.325,02	7.860,00	8,72
03/2024	142,35	91.624,42	9.012,42	80.180,00	89.192,42	2.432,00	2,65
04/2024	140,6	84.017,57	8.492,57	70.604,00	79.096,57	4.921,00	5,86

Fonte: Cagece (2024)

Através das análises destes dados percebeu-se que após as ações de melhoria, o valor do percentual de perdas no trecho da ETA até Lavras da Mangabeira, reduziu significativamente, com maiores vistas para março e abril de 2024. Com a redução das ocorrências, a equipe de trabalho realizou a tentativa de aumento da vazão produzida do sistema em janeiro/2024, indo de 142 m³/h para 149m³/h, no entanto, a tentativa falhou, pois, as ocorrências de rompimento voltaram a ocorrer. Optou-se assim por trabalhar com a vazão em torno de 142 m³/h.

Ao realizar a comparação do volume de perda na adutora (última coluna da figura 06) e o valor total de perdas (figura 05), foi identificado que o maior valor de perdas do sistema não está concentrado na adutora, e sim na rede de distribuição. Quando o valor de perdas na adutora é subtraído das perdas totais, chegamos a um valor de perdas na distribuição de 49% para o mês de março/2024. Um valor muito elevado se comparado aos 2,65% contabilizados no trecho da adutora para o mesmo período.

A análise das ações realizadas e os dados coletados, mostram que as estratégias montadas pelo grupo de trabalho para redução das ocorrências e das perdas no trecho da adutora foram importantes e alçou bom resultado no que se refere a continuidade do abastecimento. No entanto, atingindo a frequência e a redução de perdas em torno de 2 a 5% em um trecho de 24km é um ótimo valor, dessa forma continuar a investir altos valores no sistema adutor não seria eficiente na redução de perdas totais do sistema. Dessa forma, deve-se buscar estratégias para realização de obra e fiscalização no setor de distribuição, objetivando melhorar o abastecimento e otimizar a produção e água.

5. CONCLUSÃO

Em conclusão, a crise hídrica e a crescente restrição de acesso à água potável demandam ações efetivas por parte das companhias de abastecimento e do governo. O presente estudo analisou detalhadamente o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) de Lavras da Mangabeira, identificando problemas operacionais e propondo alternativas para mitigá-los. A coleta de dados ao longo de um ano possibilitou uma compreensão aprofundada dos volumes desde a captação até a distribuição, resultando em recomendações práticas e melhorias de desempenho, além de identificar o maior gargalo das perdas, que está na rede de distribuição, e não na adutora como se imaginava inicialmente. As ações implementadas na adutora também foram essenciais na constância da operação, além de demonstrarem ser eficientes na redução das perdas de água, reafirmando a importância de estratégias bem fundamentadas e a continuidade na busca por soluções inovadoras para os desafios no setor de abastecimento de água. Os resultados aqui apontados direcionaram um novo olhar para que a tomada de decisão e investimentos sejam aplicados em local que gerem maior efetividade e redução de perdas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABARCA, N. L. S. *Traçado de tubulação tronco em abastecimento de água rural: um enfoque para escoamento por gravidade*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2018. 170 p.
2. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate*. Setembro de 2013. Disponível em: https://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas_resumo.pdf. Acesso em: 15/01/2024.
3. ARCE – Agencia Reguladora do Ceará. *Sistema de monitoramento da continuidade do fornecimento de água nos serviços públicos de abastecimento operados pela Cagece*. Resolução n° 207 de 29 de abril de 2016.
4. BRASIL. *Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab*. Brasília: Ministério das Cidades/SNSA, 2019.
5. CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará. *Informação do Controle Operacional*. 2024.
6. CARVALHO, F. S. *Estudos sobre perdas no sistema de abastecimento de água da cidade de Maceió*. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 7, 2004, São Luís. Anais...São Luis: ABRH, 2004.

7. COGERH – Companhia de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. *Portal Hidrológico. Volume de armazenamento de reservatórios*. Disponível: <http://www.funceme.br/hidro-ce-zend/>. Acesso em: 30/05/2024.
8. CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M. et al. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. Brasília, 2003. 674 p.
9. IEC - International Electrotechnical Commission. *Analyse de cause initiale (RCA)*. ICS 03.120.01. ISBN 978-2-8322-2246-1, 2015. 145 p.
10. KUSTERKO, S. et al. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.23 n.3, maio/jun 2018, p. 615-626.
11. MIGUEL, Paulo. *Qualidade: Enfoques e Ferramentas*. 1. Ed. Artliber, 2001.
12. PARETO, Vilfredo (1971). *Manual of political economy* (em inglês). [S.l.]: Scholars Book Shelf. 504 páginas. Consultado em 21 de julho de 2017.
13. PERRONI, B. L. T.; CARVALHO, J. A.; FARIA, L. C. Velocidade econômica de escoamento e custos de energia de bombeamento. *Rev. Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.31, n.3, p.487-496, 2011.
14. PORTO, R. de M. *Hidráulica Básica*. São Carlos: EESC/USP, 4º ed., 516p., 1998.
15. SNIS - Estudo de perdas de água do instituto trata brasil de 2023 – SNIS (2021): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico no brasil. São paulo, 25 de maio de 2023. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Estudo-de-Perdas-de-Agua-2023.pdf>. Acesso em: 01/02/2024.
16. ZOCOLER, J.L.; BAGGIO FILHO, F.C.; OLIVEIRA, L.A.F.; HERNANDEZ, F.B.T. *Model for determining flow diameter and economic velocity in water elevating systems*. Mathematical Problems in Engineering, Nasr City, v.2006, p.1-17, 2006.
17. WORLD BANK. Public-Private Infrastructure Advisory Facility (PPIAF). Annual Report (English). Washington, D.C.: World Bank Group, 2023. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/099433011162311647/IDU002e5d5a10eb5e047280aaf2088a5c6f0f2f4>. Acesso: 21 maio de 2024.