ESTUDO ECONÔMICO SOBRE O SISTEMA DE CAPTAÇÃO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SUAS IMPLICAÇÕES NO MEIO AMBIENTE

Bruno Vinícius Castro Guimarães¹, Elias Brasilino de Souza², Ana Maria Alves Abreu³, Manoel de Jesus de Souza Miranda⁴, Maycon Murilo Castro Guimarães⁵

1 Professor Mestre do Instituto Federal do Amazonas Campus São Gabriel da Cachoeira, (bvinicius20@yahoo.com.br) São Gabriel da Cachoeira, Brasil

2 Professor Mestre do Instituto Federal do Amazonas

3 Gerente de Serviços, Banco do Brasil S/A

4 Professor Mestre do Instituto Federal do Amazonas

5 Engenheiro Agrônomo da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Recebido em: 08/09/2015 – Aprovado em: 14/11/2015 – Publicado em: 01/12/2015
DOI: http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_154

RESUMO

O objetivo deste trabalho consiste em estudar a eficiência energética do sistema de abastecimento de água, considerando o custo operacional da rede de distribuição e a autonomia hídrica do reservatório do Instituto Federal do Amazonas - IFAM, Campus São Gabriel da Cachoeira – SGC. Durante o estudo, buscou-se comparar com outras formas de captação de água com menor impacto ambiental e econômico. A pesquisa sobre o sistema de abastecimento de água do IFAM- CSGC foi desenvolvida na estação de captação e distribuição de água do Campus - SGC, no período de abril de 2013 a março de 2014. No sistema de abastecimento em referência, a rede de redistribuição da água potável funciona por gravidade 24 h dia⁻¹, o que favorece a economia de energia elétrica. O conjunto de elementos estruturado para viabilizar captação da água (adução por recalque), apresenta consumo energético de 90.711,79 kW ano⁻¹, o que favorece combustão de 23.585,07 litros de diesel ano⁻¹ e resulta em emissão 61,42 t CO₂ para o meio ambiente, perfazendo um impacto econômico R\$29.027,77. Neste contexto, recomenda-se a utilização da energia fotovoltaica para atender a demanda energética, que, associada com a captação da água pluvial, favorece maior autonomia hídrica, conservação dos mananciais e minimiza o gasto energético.

PALAVRAS-CHAVE: gestão, recursos hídricos, sustentabilidade.

ECONOMIC STUDY OF THE COLLECTION SYSTEM AND WATER SUPPLY AND ITS IMPLICATIONS ON THE ENVIRONMENT

ABSTRACT

The objective of this project, consist to studying the energy efficiency of the water supply system, the operating cost of the distribution network and water autonomy of the Amazonas Federal Institute reservoir - IFAM, Campus São Gabriel da Cachoeira – SGC. During the study, we sought to compare with other forms of water capture with lower environmental and economic impact. The study of the IFAM- CSGC water supply system was developed in Capture station and water distribution Campus - GSC from April 2013 to March 2014. In the water supply system, the drinking water redistribution network works by gravity 24 h day^{-1} which favors saving electricity. The set of elements structured to enable water catchment (adduction by repression) presents energy consumption of $90711.79 \text{ kW years}^{-1}$, which favors the combustion $23585.07 \text{ liters of diesel years}^{-1}$ and t CO_2 emission 61.42 to the environment, making an economic impact $\text{R\$}29,027.77$. In this context, the use of photovoltaic energy to meet the energy demand is recommended, which, together with the capture of rainwater, favors greater autonomy water, conservation of water sources and minimizes energy expenditure.

KEYWORDS: management, water resources, sustainability

INTRODUÇÃO

A água, considerada um bem de domínio público e imprescindível à vida, presta-se a múltiplos usos na sociedade em geral: abastecimento público, lazer, uso industrial, geração de energia, irrigação, entre outros. De acordo com MARQUES & SOUSA (2008), tais assertivas estão sendo implementadas visando a quebra da resistência social que associam a abundância relativa de água no Brasil a uma cultura de desperdício por parte da população usuária. E como agravante deste processo, os sistemas de coleta, tratamento e distribuição de água do País, têm parte importante de suas estruturas bem antiga e com sérios problemas de manutenção, acumulam perdas que podem superar até 40% do volume de água produzido.

A utilização racional dos recursos hídricos é uma questão de sobrevivência e de responsabilidade universal. Por se tratar de um segmento diretamente associado ao meio ambiente e em respeito as gerações futuras, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, FAO, e o Relatório de Desenvolvimento Humano - RDH (AWWA, 2003) tem dado ênfase ao tema e afirmam que em 2026 aproximadamente 70% da população mundial deve ser vítima da escassez hídrica.

Ainda vale considerar que as águas de boa qualidade são finitas e apresentam irregularidade na distribuição. Além da poluição que lhes afetam, existem ainda problemas sérios como elevados níveis de perdas de água nos sistemas de abastecimento, que, em muitos casos, têm-se mostrado deficitários, indicando a necessidade de investimento nessa área (SOUZA, 2011).

Além disso, o uso desordenado da água tem provocado alterações no meio ambiente difíceis de serem previstas e mensuradas. LIBÂNIO (2010) alerta que é fundamental que se estabeleça padrões claros para a avaliação do impacto ambiental resultante das redes de distribuição de água, a fim de conciliar o crescimento e desenvolvimento econômico do país com o mínimo de impactos

ambientais resultantes das falhas ou perdas de água nas redes de distribuição e abastecimento.

A gestão econômica da captação e qualidade da água está relacionada com o gasto energético, sobretudo de energia não renovável, na obtenção deste recurso vital. Nesse sentido, o planejamento sustentável da captação da água faz parte da estratégia global para a administração da qualidade da água proposta pelo Programa na Organização das Nações Unidas - ONU para o meio ambiente e pela Organização Mundial da Saúde - OMS. Por essa perspectiva, visualiza-se o alcance simultâneo de três importantes elementos coincidentes com objetivos estratégicos: proteção da saúde pública, manutenção da integridade dos ecossistemas e uso sustentado da água, o que implica na obtenção da água por meio de elementos ecologicamente corretos e sustentáveis (PNUD – ONU, 2006).

Estudos mostram que a captação da água subterrânea pode gerar inúmeros impactos, desde socioeconômicos até ambientais com a contaminação do lençol freático. Observa-se que o consumo energético e a dependência de energia externa na captação da água inviabilizam o acesso à água em inúmeras regiões do país, sobretudo nas comunidades mais distantes dos grandes centros fornecedores de energia elétrica e termoeletrica (SILVA & ARAÚJO, 2003).

Outros trabalhos sobre gestão de recursos hídricos concluíram que a distribuição da água nos sistemas de abastecimento de modo eficiente proporciona melhores resultados econômicos para empresas de abastecimento, além da diminuição dos impactos ao meio ambiente (TINOCO & ROBLE, 2006).

Por fim, a análise e a avaliação econômica da captação da água em cisternas, mananciais, poços tubulares e artesianos possibilitam o entendimento do custo operacional efetivo envolvido na captação e distribuição da água, e, por conseguinte, favorece a apresentação de propostas alternativas para obtenção da água de forma sustentável, sem, contudo, depender de recursos externos.

O objetivo deste trabalho consiste em analisar a eficiência energética do sistema de abastecimento de água, o custo operacional da rede de distribuição e a autonomia hídrica do reservatório do IFAM, Campus São Gabriel da Cachoeira, além de prevê e comparar com outras formas de captação de água com menor impacto ambiental e econômico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo econômico sobre o sistema de captação e abastecimento de água e suas implicações no meio ambiente foi desenvolvido na estação de captação e distribuição de água do Instituto Federal do Amazonas Campus São Gabriel da Cachoeira – AM (IFAM), no período de abril de 2013 a março de 2014. O Município amazonense apresenta índice pluviométrico médio de 3.191 mm ano⁻¹ (GUIMARÃES et al., 2015) e temperatura média anual de 25 °C. Inserido na localização geográfica de 00°14'55" S, 69°24'13" W e 121 m de altitude.

No intuito de determinar a análise econômica do sistema de abastecimento de água do IFAM para atender a demanda hídrica do Campus São Gabriel da Cachoeira, considerou-se o seguinte:

a) Componentes e descrição das motobombas submersas e centrífugas: potência - HP, comprimento e desnível da tubulação sucção – CHS, comprimento e desnível da tubulação de recalque – CHR, altura manométrica total – AMT, perda de carga localizada e distribuída – PCLD, tempo de funcionamento – TF, intervalo de

manutenção – IM, vazão – Q, características da tubulação - diâmetro nominal e externo – CT, natureza do material – NM, Fontes energéticas – F, Finalidade da Captação - FC e Coordenadas Geográficas dos sistemas de captação da água – CG;

b) A perda de energia no sistema de abastecimento e na rede de distribuição de água foram calculadas por meio da proposta de Hazen-Willians: perda de carga distribuída $H_{fd} = (10,646 \cdot 1 / (D^{4,87}) \cdot ((Q/3600)/C)^{1,852}) \cdot L \cdot F$, perda de carga localizada $H_{fl} = (H_{fd}) \cdot 0,05$, altura manométrica total (A.M.T) = DTS + DTR + PCD + PCL, desnível da tubulação de sucção (DTS), desnível da tubulação de recalque (DTR), perda de carga distribuída (PCD) e perda de carga localizada. (PCL);

c) O consumo e o custo energético total na rede de distribuição da água, kWh e R\$, respectivamente, foi determinado por meio das equações matemáticas: consumo energético (kWh) = potência (HP) * Coeficiente (735,5) * tempo de funcionamento (horas) e custo energético (R\$) = consumo energético (kWh) * tarifa de R\$0,32 atualmente kWh^{-1} ;

d) Estrutura da rede: a rede de distribuição da água foi determinada e representada por meio de maquetes eletrônicas de representação gráfica com o auxílio do programa de desenho técnico SketchUp, versão 2015;

e) Custo: foi realizado o custo operacional e da manutenção do sistema de captação e redistribuição da água contemplando as despesas variáveis e fixas, observando os níveis de operacionalização: corretiva, preventiva e detectiva, preditiva e produtiva das motobombas, conforme a descrição seguinte;

No que tange à manutenção, levou-se em conta as referências corretivas, preditivas, detectivas, preditivas e produtivas, assim entendidas:

a) Corretiva: esse tipo de manutenção visa a correção de problemas existentes, realizada após a quebra ou falha, consiste na intervenção imediata e aleatória (VIANA, 2006);

b) Preventiva: intervenções realizadas antes da quebra ou falha do equipamento, a partir de serviços operacionalizados dentro de um intervalo de tempo. Trata-se de um tipo de manutenção planejada que oferece muitas vantagens para a empresa, evitando-se surpresas desagradáveis, panes inesperadas do equipamento, propiciando redução de custos elevados para a manutenção (VIANA, 2006);

c) Detectiva: previsão das falhas ocultas ou ainda não percebidas pelo pessoal de operação e a manutenção, a partir do que são detectadas por um sistema de proteção, o qual é realizado por computadores e instrumentos digitais e tem como objetivo garantir a confiabilidade (ARAÚJO et al., 2010);

d) Preditiva: previsão de desgastes e problemas, através do monitoramento de variáveis (temperatura, vibrações, radiações, particulados, etc.) Para SANTOS (2010). O custo deste tipo de manutenção aparenta ser elevado, todavia, devido aos benefícios por ela proporcionados, são compensados nos primeiros anos;

e) Produtiva: esse tipo de manutenção produtiva total tem origem no Japão, onde é vista como uma forma de evolução da manutenção corretiva para manutenção preventiva (NIGEL & CHAMBERS, 2010). Trata-se de um modo de intervenção que adota alguns princípios de trabalho em equipe e uma abordagem de melhoria contínua para evitar a falha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sistema de captação

A rede de captação e distribuição da água do Instituto Federal do Amazonas - IFAM visa abastecer e atender a demanda dos seguintes setores: Bloco Pedagógico, Departamento Administrativo, Unidades de Produção Animal e Vegetal, Residência Estudantil e dos Servidores do Campus São Gabriel da Cachoeira.

MARQUES & SOUSA (2008) mencionam que no sistema de abastecimento de água, enquanto rede de distribuição, é a unidade parcelar constituída pelo conjunto de condutos e pelos elementos especiais que viabilizam de forma segura o transporte e a distribuição da água desde o(s) reservatório(s) de distribuição até os consumidores finais, em quantidade e pressão adequadas.

O sistema de captação e abastecimento de água do IFAM é composto por duas classificações hídricas: água potável e não potável. A primeira fonte diz respeito à captação da água diretamente do lençol freático em dois níveis de profundidade, 74 m e 44 m. A segunda categoria, de natureza não potável, refere-se à captação da água disponível no âmbito territorial de propriedade do IFAM, diretamente do igarapé perene afluente do rio Negro.

Um conjunto integrado e complementar de quatro motobombas efetiva a captação e distribuição da água, sendo que dois dentre estes equipamentos são submersos, dotados de potências iguais a 3 hp, ao tempo em que os outros dois são centrífugas, com potências de 3,7 hp e 10 hp (Tabela 1). As motobombas submersas 1 e 2 (convenções da Tabela 1) foram dimensionadas para captar a água subterrânea e, posteriormente, abastecer o reservatório submerso. Por sua vez, a motobomba centrífuga 1, localizada na superfície do reservatório, capta a água armazenada e direciona para a plataforma de redistribuição da água posicionada a 15,61 m de altura (Figura 1); a motobomba centrífuga 2 é destinada a captação alternativa da água no igarapé, para atender necessidades dos tanques do sistema de piscicultura do IFAM e de outros setores (Figura 2).

Em síntese, considerando que as motobombas submersas 1 e 2 têm vazão equivalente a $13,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e tempo de funcionamento de 12 horas dia^{-1} (Tabela 1), pode-se acrescentar que o sistema de captação de água subterrânea retira $316,8 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ do lençol freático, perfazendo um volume de 9.504.000 litros de água potável mês^{-1} . No intuito de captar a água do reservatório submerso, constantemente abastecido pelas submersas 12, e elevar para plataforma de redistribuição da água por gravidade, a motobomba centrífuga 1, com vazão de $21,77 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, funciona por 7:00 horas, perfazendo um volume de $152,39 \text{ m}^3$, aproximadamente (Tabela 1). Por outro lado, o sistema de captação da água para fins não potáveis, motobomba centrífuga 2, com vazão de $31,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, bombeia 744.960 litros dia^{-1} , o que representa 22.659.200 litros de água mês^{-1} .

TABELA 1 Características do sistema de captação da água potável e não potável do IFAM

Componentes do sistema de abastecimento	Símbolo - unidade	Descrição das motobombas			
		Submersa 1	Submersa 2	Centrífuga 1	Centrífuga 2
1 - Potência	hp	3	3	3,7	10
2 - Comprimento da tubulação sucção	CTS - m	74	44	3,34	28
3 - Desnível da tubulação sucção	DTS - m	71	41	2,84	4
4 - Diâmetro nominal de sucção	DNS - mm	60	50	60	60
5 - Perda de carga distribuída de sucção	PCD - M.C.A	2,3	3,3	0,3	4,2
6 - Perda de carga localizada de sucção	PCL - M.C.A	0,12	0,165	0,015	0,21
7 - Comprimento da tubulação de recalque	CTR - m	251,23	19,96	22,37	706,3
8 - Desnível da tubulação de recalque	DTR - m	10	1	15,73	4
9 - Diâmetro nominal de recalque	DNR - mm	60	60	50	60
10 - Perda de carga distribuída de recalque	PCD - M.C.A	7,8	0,6	4,3	107,7
11 - Perda de carga localizada de recalque	PCL - M.C.A	0,39	0,03	0,215	5,38
12 - Altura manométrica total	AMT - M.C.A	91,61	46,10	23,40	125,49
13 - Tempo de funcionamento do abastecimento	TF - horas	12:00	12:00	7:00	24:00
14 - Período de funcionamento	PF - horas	00:00 às 12:00	12:00 às 00:00	7:30 às 11:00 15:00 às 18:30	Constante
15 - Intervalo de manutenção	IM - dias	Alternado	Alternado	Não previsto	Não previsto
16 - Vazão	Q - m³ h⁻¹	13,2	13,2	21,77	31,04
17 - Natureza do material de sucção	NMS	Tubos geofísico	Tubos geofísico	PVC	PVC
18 - Natureza do material de recalque	NMR	PVC	PVC	PVC	PVC
19 - Fontes energéticas	FE	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
20 - Finalidade da captação	FC	Potável	Potável	Potável	Não potável
21 - Fontes hídrica	FH	Subterrânea	Subterrânea	Reservatório	Igarapé
22 - Coordenadas geográficas dos sistemas de captação de água	Latitude	00° 07' 39" S	00° 07' 30" S	00° 07' 29" S	00° 07' 48" S
	Longitude	67° 03' 75" W	67° 03' 42" W	67° 03' 42" W	67° 04' 00" W
	Altitude	69 m	80 m	81 m	65 m

M.C.A = Metros de Coluna de Água

Perda de carga distribuída $H_{fd} = (10,646 \cdot 1 / (D^{4,87}) \cdot ((Q/3600)/C)^{1,852}) \cdot L \cdot F$

FIGURA 1 Representa o sistema de captação da água subterrânea e a rede de distribuição da água. (Design: SketchUp, 2015)

FIGURA 2 A tubulação destacada em azul estabelece a fonte alternativa de captação e abastecimento da água do IFAM (fonte igarapé). (Fonte: Google Earth, 2014).

Análise econômica

Para a determinação do estudo econômico sobre o sistema de abastecimento de água do IFAM, fez-se necessário a descrição dos custos relativos à energia termoelétrica, recursos humanos e a manutenção das motobombas.

O gasto energético é diretamente relacionado ao tempo de funcionamento e a potência das motobombas. No sistema de captação da água, as motobombas submersas 1 e 2, dotadas de potência de 3 hp, funcionam em modo alternado por 12 horas diárias cada, resultando num gasto energético diário de 26,478 kW motobomba dia⁻¹ (Tabela 2).

A escala de funcionamento em horários divergentes permite a segurança mínima nos intervalos de manutenção e, ao mesmo tempo, assegura condição suficiente para corrigir falhas mecânicas que por ventura sucedam no sistema. Ademais, promove uma menor pressão de extração hídrica no lençol freático.

A motobomba centrífuga 1, com potência de 3,7 hp, destinada a retirar água do reservatório submerso e direcionar para a plataforma de redistribuição por gravidade, completa o abastecimento do reservatório de 68,58 m³ em 3 horas e 30 minutos. Isso corresponde a um consumo energético de 9,525 kW. Nesse contexto, é válido considerar que a demanda diária do IFAM, durante o período letivo, é de 137.160 litros de água potável, sendo necessário para o fornecimento contínuo de água para o abastecimento do reservatório superior do Campus por duas vezes ao dia, o que equivale a um consumo energético de 19,050 kW dia⁻¹.

Por outro lado, a motobomba centrífuga 2, potência de 10 hp, instalada sobre a plataforma do igarapé, com a finalidade não potável, tem funcionamento constante por 24 horas diárias. Nesse período, o impacto resultante com o gasto energético é de 176,52 kW dia⁻¹ (Tabela 2).

TABELA 2 Equação de consumo energético do sistema de captação da água do IFAM

Característica da motobomba	Fonte manancial-FM	Equação de consumo - EC	Consumo diário – CD
Bomba submersa 1	Poço tubular	3 hp*0,7355*12 hs*1 nt	26,478 kW
Bomba submersa 2	Poço tubular	3 hp*0,7355*12 hs*1 nt	26,478 kW
Bomba centrífuga 1	Reservatório	3,7 hp*0,7355*3,5 hs*2 nt	19,050 kW
Bomba centrífuga 2	Igarapé	10 hp*0,7355*24 hs*1 nt	176,52 kW
Consumo diário total			248,526 kW

EC=potência da motobomba (hp)*fator de conversão (0,7355) * tempo de funcionamento (hs)*número de turno (nt). Fator de conversão $T = t \text{ pot}^{-1}$.

O município de São Gabriel da Cachoeira/AM, no tocante a serviços energético, tem funcionado a partir de fonte exclusiva para geração de energia, contando assim apenas com uma termoelétrica acionada por combustível óleo diesel. Localizada no centro da cidade, essa usina tem por objetivo atender a demanda energética do perímetro urbano e de alguns polos e assentamentos rurais.

Atualmente, a tarifa da energia elétrica no Município aqui em referência tem valor médio de R\$0,42 kWh⁻¹, para pessoa física, e R\$0,32, para instituições públicas. Em outras regiões do Brasil, a tarifa alcança patamares aproximadamente de R\$0,50 kWh⁻¹ gerado. Considerando os custos de combustível, manutenção e de operação, os índices tarifários em algumas termoelétricas do Brasil são superiores a 56% em relação ao município de São Gabriel da Cachoeira-AM.

Em análise da Tabela 3, observa-se que o sistema de captação e abastecimento de água do IFAM, promovido por quatro motobombas – duas submersas e duas centrífugas, apresenta consumo energético anual de 90.711,79 kW, perfazendo um gasto anual de R\$29.027,77, aproximadamente. Por sua vez, o sistema alternativo de captação de água da fonte não potável, a partir da motobomba centrífuga 2, durante um ano, apresenta maior consumo de energia 64.429,8 kW, o que resulta em um impacto econômico de R\$20.617,53 ano⁻¹.

TABELA 3 Consumo energético do sistema de captação da água do IFAM

	Consumo total no ano em kW	Gasto total no ano (R\$) (Tarifa R\$0,32 kW ⁻¹)	Gasto médio mensal (R\$)
Motobomba Submersa 1	9.664,47	3.092,63	257,71
Motobomba Submersa 2	9.664,47	3.092,63	257,71
Motobomba Centrífuga 1	6.953,05	2.224,98	185,41
Motobomba Centrífuga 2	6.4429,8	2.0617,53	1.718,13
Totais	90.711,79	29.027,77	2.418,96

Consumo total no ano (kW) = consumo diário (kW)*365 dias

Gasto total no ano (R\$) = Consumo total no ano (kW)*Tarifa R\$0,32 kW⁻¹

Gasto médio mensal (R\$) = Gasto total no ano 12 meses⁻¹

Impacto ambiental

Estrategicamente, o Brasil utiliza a energia termoelétrica, gerada a partir da queima de combustíveis fósseis. Esse uso ocorre quando há diminuição de água, provocada pela carência de chuvas, nas represas que abastecem as usinas hidrelétricas. Nesse cenário, todas as usinas termoelétricas postas em funcionamento podem gerar cerca de 15 mil mW (Megawatts) de energia, correspondendo a 7,5% de participação no sistema elétrico nacional.

Todavia, a geração da energia nas termoelétricas está associada a grande liberação de poluentes para a atmosfera. Estes poluentes são responsáveis pela geração do efeito estufa e aumento do aquecimento global, somados à emissão de outros gases também nocivos ao meio ambiente. Portanto, este tipo de energia é altamente prejudicial ao meio ambiente. Além disso, o custo final da energia gerada por termoelétricas é mais elevado do que a gerada por hidrelétricas, em decorrência do elevado preço dos combustíveis fósseis (BRANCO & BRANCO, 2007).

As regulamentações ambientais no Brasil, ditadas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), assim como em outros países, por meio das suas agências reguladoras, estabelecem limites para a composição dos gases de combustão, segundo padrões que definem valores cada vez menores ao longo dos anos futuros. Esse conjunto de medidas tem o propósito de fazer com que os fabricantes introduzam inovações nos processos de desenvolvimento tecnológico, elevando-se à capacidade de assegurar a redução dos níveis atuais de poluição ambiental. Entretanto, com o aumento exponencial da quantidade de motores movidos a combustíveis fósseis, o aumento de volume de poluentes emitidos tem se mostrado inevitável.

Os fatores de emissão de CO₂ resultantes da geração de energia elétrica, verificada no Sistema Interligado Nacional (SIN) do Brasil, são calculados a partir dos registros de geração das usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), com destaque das usinas termoelétricas. O

quadro que aí se apresenta retrata que o setor energético é o que mais aumenta as emissões de CO₂ no Brasil. Dados preliminares apontam que, em 2012, pela primeira vez, o desmatamento deixou de ser a principal fonte de emissões, papel que cabe, atualmente, ao setor de energia por conta da queima de combustíveis fósseis. Esse setor responde por 30% das emissões brasileiras. Em 2011, a emissão per capita deste setor no Brasil já superava 2 t CO₂ habitante⁻¹, o dobro de uma economia de baixo carbono (MCTI, 2013).

Em análise do II Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, expedido pelo MCTI (2010), é importante notar que o Brasil não é uma economia de baixo carbono, mesmo que essa condição possa, eventualmente e por alguma razão, ser apresentada no sentido contrário. Em 2005, as emissões somaram 2,2 bilhões de t CO₂, o que representava uma emissão per capita de 12 t, aproximadamente o dobro da emissão per capita global que é de 7 t CO₂ habitante⁻¹. Com a diminuição do desmatamento, entre 2005 e 2012, as emissões de CO₂ caíram para 1,5 bilhões de toneladas e reduziu-se a emissão per capita a um pouco mais de 7 t CO₂ habitante⁻¹, muito semelhante à média global (MCTI, 2013).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), parte integrante do Protocolo de Quioto, permite que projetos realizados nos países em desenvolvimento, como o Brasil, possam gerar reduções certificadas de emissões (RCEs), créditos de carbono. Essas informações são necessárias aos projetos de energia renovável conectados à rede elétrica e implantados no Brasil. Os projetos que ofertam energia elétrica para a rede ou que reduzem ou eliminam o consumo de energia da rede devem utilizar o fator de emissão de CO₂, associado à rede para calcular as reduções obtidas com a implantação do projeto.

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é composto por quatro submercados de energia: Norte, Nordeste, Sul e Sudeste/Centro-Oeste. Nas usinas termelétricas de cada submercado o combustível primário tipo Gás Natural é o mais utilizado, seguido do Carvão, Óleo Combustível e Nuclear. Todavia, o submercado Norte não possui usinas termelétricas despachadas pelo ONS.

Cálculo do fator de emissão de CO₂ por óleo diesel na usina termoeletrica de São Gabriel da Cachoeira-AM.

As usinas térmicas emitem inúmeros gases tóxicos pela queima de combustível fóssil, dentre os quais o CO₂ se destaca como o mais agressivo e predominante. O fator de emissão de CO₂ por unidade de combustível consumido é calculado com base no poder calorífico dos combustíveis e em fatores de emissão por unidade de energia. O fator de emissão de CO₂ pela queima do Óleo Diesel (FC_c) é o resultado dos valores de conteúdo de energia por unidade de combustível (CE_c), dos fatores de emissão de carbono por quantidade de energia do combustível (FE_c) e os fatores de oxidação dos combustíveis (OX_c), conforme a equação a seguir: $FC_c = CE_c * FE_c * OX_c * 44/12$. Se se considera que uma usina termoeletrica à combustão de 1000 m³ de óleo diesel apresenta os parâmetros de 35,52 Tj/uni, 20,22 t C/TJ, 0,99 OX, respectivamente, CE_c, FE_c e OX_c, tem-se então que $FC_c = 35,52 * 20,20 * 0,99 * 44/12$, levando a uma emissão de 2.604,539 t CO₂ 1000 m⁻³ de óleo diesel.

Em se tratando de São Gabriel da Cachoeira/AM, a usina termoeletrica operante administra 25,5 m³ dia⁻¹ de combustível óleo tipo diesel para atender uma demanda de aproximadamente 5 mW dia⁻¹. Nesse caso concreto, observa-se que o

consumo mensal alcança patamares de aproximadamente 765 m³ mês⁻¹, perpetrando a emissão de 1.992,472 t CO₂.

Considerando os aspectos ambientais locais, no tocante ao sistema de captação de água do IFAM, para a operação das quatro motobombas— duas submersas e duas centrífugas, durante um ano, e tendo-se em conta que o consumo específico do combustível óleo diesel fica em torno de 0,26 litro kWh⁻¹, chega-se ao entendimento de que um gasto energético de 90.711,79 kW favorece a queima de 23.585,07 litros de diesel ano⁻¹. Esse conjunto de operações acaba resultando na emissão de 61,42 t CO₂ ano⁻¹.

Transporte de combustível tipo óleo diesel para a termelétrica

No presente estudo não foi considerado o traslado do combustível fóssil entre a localidade-fonte, Manaus/AM, e a termelétrica que opera em São Gabriel da Cachoeira/AM. No entanto, cabe destacar que os veículos movidos a diesel, dos tipos¹ utilizados no transcurso acima mencionado, emitem mais CO₂ por unidade de volume ou peso de combustível em relação aos demais modais motorizados. Alguns trabalhos utilizam o fator de emissão médio de 2,6 kg de CO₂ para cada litro de diesel queimado na combustão, que somado ao valor médio de 0,5 kg de CO₂ emitidos para produzir e distribuir o combustível, chega-se a uma taxa de emissão em torno de 3,1 kg de CO₂ litro de diesel⁻¹.

Há certa variação na literatura para esse valor médio em função das premissas adotadas para caracterização do perfil da frota. SOARES et al., (2009) utilizam um valor médio final de 4 kg de CO₂ litro de diesel⁻¹. Alguns sites que calculam emissões setoriais apresentam valores de emissões apenas na combustão, próximos ao considerado no trabalho, como 2,67 kg de CO₂ litro de diesel⁻¹ e o valor calculado no manual do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) de 2,67 kg de CO₂ litro de diesel⁻¹, com dados de emissões de veículos pesados europeus que se assemelham com os veículos brasileiros (ÁLVARES, 2009).

Custo de pessoal e manutenção do sistema

O sistema de captação de água do IFAM é acionado de modo manual, sendo necessário para o funcionamento a atuação de um Bombeiro Hidráulico. O responsável pelo setor, remunerado por um salário de R\$1.100,00 mensal, é encarregado de acionar e supervisionar o funcionamento das quatro motobombas destinadas a captação da água, bem como de executar possíveis reparos na rede de redistribuição da água.

Manutenção das motobombas

A raiz semântica da palavra manutenção tem origem no latim (*manus tenere*) e significa manter o que se tem (VIANA, 2006). Trata-se de uma prática existente desde quando o ser humano começou a manusear instrumentos de produção. Nos tempos modernos, manutenção diz respeito a um conjunto de procedimentos utilizados por empresas para evitar quebras, falhas, constituindo parte importante para as atividades de produção principalmente para as instalações físicas onde a falha possa vir a atingir a produção de bens e serviços (NIGEL & CHAMBERS,

¹Os modais motorizados que são utilizados para perpetrar o transporte de diesel no trecho Manaus/AM–São Gabriel da Cachoeira/AM consiste em balsas (modelo “tanque-porão”), rebocadas por pequenas embarcações motorizadas com força motriz compatível com o peso a ser mobilizado ao longo do curso fluvial.

2010). Além de corrigir, prevenir, detectar defeitos e falhas sejam potenciais ou funcionais, a manutenção tem como objetivo manter tanto as condições de uso quanto a segurança fazendo com que se tenha maior desempenho de uso (BRANCO & BRANCO, 2007).

No que se refere a comandos operacionais, CORRÊA & CORRÊA (2010) afirmam que é função do gestor de operações procurar, decidir e ter ações que evitem a ocorrência das falhas e quebras, a partir de medidas preventivas de forma a garantir aumento da confiabilidade e correção das falhas. Desta forma, dadas as condições de garantia de manutenção, vê-se a possibilidade de prolongar a vida útil de equipamentos e viabilizar um funcionamento com menores custos (SANTOS, 2010).

No tocante aos níveis de manutenção desenvolvidos pela administração moderna, quais sejam corretiva, preventiva, detectiva, preditiva e produtiva, apenas a primeira é realizada no sistema captação de água do IFAM. Todavia, embora seja esporádica a prática de interromper o fornecimento da água para o campus por falhas na manutenção, esse processo gera custos elevados ao sistema. No caso concreto em tele, quando não se estabelece os programas de manutenção das motobombas, é comum que os equipamentos de captação hidráulica sejam substituídos, diminuindo dessa forma a vida útil e a otimização das motobombas.

Segundo VIANA (2006), a manutenção corretiva é realizada após a quebra ou falha. Tem-se, pois, uma intervenção imediata, aleatória, que não possui um planejamento exato para a mesma. Nesse sentido, nota-se também em Santos (2010) o entendimento de que esse tipo de manutenção implica em danos relevantes e pode causar grande perda da produção e se tornar um método que ocasiona muitas despesas.

BRANCO & BRANCO (2007) preconiza ainda que as consequências da realização apenas desse tipo de manutenção podem causar um grande e contínuo desgaste ao equipamento ou máquina, gerando degradação e outras consequências, tais como: perda de produção, riscos a integridade da instalação, ao meio ambiente e até à vida humana, nos casos mais graves.

Rede de distribuição da água

O sistema de abastecimento de água compreende a captação, adução, recalque, reserva e distribuição. No caso específico aqui estudado, tem-se como fonte manancial as águas superficiais do igarapé e as águas subterrâneas servidas, a partir da operação de motobombas em poços artesianos perfurados no Campus do IFAM.

A rede de distribuição é constituída por um conjunto de tubulações e peças que têm como finalidade a condução da água até os pontos de tomada das instalações dos blocos pedagógicos e administrativos, incluindo-se aí as Unidades de Produção Animal e Vegetal e as Residências do IFAM. No geral, é a parte de maior custo no sistema de abastecimento, compreendendo cerca de 70% do custo total. A plataforma, que integra seu reservatório de distribuição, tem como propósito o armazenamento de água para atender às demandas de consumo dos usuários dos serviços institucionais, em condições satisfatórias de pressão da água na rede de distribuição, dada a disposição de uma altura manométrica constante.

A redistribuição da água na plataforma superior assegura condições técnicas para promover de forma eficiente o fornecimento contínuo da água no IFAM. A

energia hidráulica utilizada no funcionamento do sistema possibilita a redistribuição da água por gravidade sem gasto energético. O reservatório, projetado no ponto de maior altitude do Campus, está suspenso em 12 metros, fato que favorece o transporte da água da cota mais elevada para as demais cotas com o nível mais baixo aproveitando o desnível existente (Figura 3).

Segundo ARIKAWA (2005), dentre as várias situações indesejadas que ocorrem durante o funcionamento de um sistema de abastecimento de água, observam-se: pressões inadequadas, demasiadamente baixas ou muito altas; velocidades baixas ou muito altas; fluxo invertido; vibrações prejudiciais; interrupções no abastecimento.

Neste contexto, a adutora por gravidade da rede de distribuição da água do IFAM é interligada em conduto forçado e apresenta a linha piezométrica acima da linha d'água. No sistema em análise, a água fica sob pressão superior à atmosfera. Os condutos da adutora que o integra têm seção circular, pois é a forma que melhor resiste às pressões internas da água. Assim, o sistema de redistribuição da água atende todos os níveis de elevação dos reservatórios (Figura 3).

FIGURA 3 Sistema de distribuição da água potável por gravidade/IFAM – Campus São Gabriel da Cachoeira (Fonte: Google Earth, 2015)

O levantamento planialtimétrico da rede de redistribuição da água no IFAM, por meio da plataforma do Google Earth pro 2015, possibilitou identificar os diferentes níveis de altitude do relevo do campus. A topografia local estabelece um padrão em alto grau heterogeneidade, fato que favorece a energia hidráulica por gravidade. A plataforma de redistribuição da água, projetada na altitude de 80 m, está aquém apenas das unidades de produção da Instituição, a saber: suinocultura, a 82 m, e avicultura, 83 m. Contudo, a diferença de altitude entre a plataforma de redistribuição e os setores de produção foi superada pela elevação do reservatório em 12 metros, assegurando, dessa forma, a pressão por gravidade nos setores de produção em 5,6 e 4,4 M.C.A, respectivamente (Tabela 4).

No tocante à extensão da plataforma de redistribuição, os setores mais distantes do reservatório obviamente apresentam as maiores perdas de carga na tubulação, devido a força de atrito atuando na maior superfície dos tubos. Por outro lado, os pontos mais isolados apresentam as menores altitudes da rede de distribuição, fato que favorece a maior pressão da água por gravidade (Figura 4). Ainda, de acordo com essa ilustração 4, pode-se afirmar que a maior diferença de pressão, 13,7 M.C.A, se estabelece entre as unidades de produção, suinocultura e o aviário, sendo, respectivamente, o ponto mais próximo, 100 m, e o mais distante, 1100 m, da plataforma de redistribuição da água potável.

Apesar da grande perda de energia por atrito na rede de maior extensão (cf. unidade de produção do aviário – Tabela 4), o efeito de maior pressão por gravidade

dar-se em função da menor altitude associada à unidade de produção, 65 m. O que favorece um desnível vertical de 27 M.C.A (Figura 4) e pressão efetiva no setor de 19,3 M.C.A (Tabela 4).

TABELA 4 Características do sistema de redistribuição da água potável do IFAM

Sistema de distribuição da água por gravidade	Altura (m)	Volume (m³)	Altitude (m)	Distância da plataforma de redistribuição	Perda de carga (M.C.A)	Pressão de gravidade no setor (M.C.A)
Altura Manométrica Total 92 (M.C.A)						
Plataforma de redistribuição (1)	12	68,58	80	-	-	-
Suinocultura (2)	4	1	82	85,64	0,4	5,6
Ovinocultura (3)	1	0,5	83	115,35	0,6	7,4
Cozinha experimental (4)	5	1	75	302,59	1,5	10,5
Residência dos servidores (5)	5	6	79	331,66	1,6	6,4
Residência dos servidores (6)	4	4	71	282,43	1,4	15,6
Piscicultura (7)	4	16	70	514,8	2,5	15,5
Residência estudantil (8)	4,8	4	69	384,62	1,9	16,3
Refeitório (9)	5	1,5	68	438,68	2,1	16,9
Bloco pedagógico (10)	5	1	69	378,89	1,8	16,2
Ginásio de esportes (11)	4	5	72	864,48	4,2	11,8
Bloco administrativo (12)	4	2	72	779,67	3,8	12,2
Residência dos servidores (13)	4	11	71	1014,15	4,9	12,1
Avicultura (14)	2	0,5	65	1168,08	5,7	19,3
Residência dos servidores (15)	4	4	68	1197,90	5,8	14,2

M.C.A = Metros de Coluna de Água

Perda de carga distribuída $H_{fd} = (10,646 \cdot 1 / (D^{4,87}) \cdot ((Q/3600)/C)^{1,852}) \cdot L \cdot F$

Redistribuição da água por gravidade

FIGURA 4 Sistema de distribuição da água potável por gravidade

CONCLUSÃO

No sistema de abastecimento de água do IFAM, Campus São Gabriel da Cachoeira, a rede de redistribuição da água potável funciona por gravidade 24 h dia⁻¹, o que favorece a economia de energia elétrica. Entretanto, o sistema de captação da água - adução por recalque, apresenta consumo energético de 90.711,79 kW ano⁻¹, o que resulta na combustão de 23.585,07 litros de diesel ano⁻¹ e na emissão 61,42 t CO₂ ao meio ambiente, perfazendo um impacto econômico R\$29.027,77.

Os dados obtidos nesse estudo poderão ser usados em comparação com novas ideias de obtenção de água, com maior viabilidade econômica, harmonia ambiental e aplicação social na região noroeste do Amazonas. Isto posto, recomenda-se a utilização da energia fotovoltaica para atender a demanda energética das motobombas destinadas a captação e elevação da água, que, associada ao sistema de captação da água pluvial, favorece a autonomia hídrica, conservação dos mananciais e minimiza o gasto energético.

Por fim, vale enfatizar sobre a necessidade e importância da execução dos diferentes níveis de manutenção do sistema de abastecimento de água do IFAM-CSGC, no tocante à otimização dos fatores econômicos e ambientais, resultando em menor grau de depreciação das motobombas e maior eficiência na captação e redistribuição da água.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES JR. O. M.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada para cálculo das emissões de gases de efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 2009.

ARAUJO, I. M.; CÂMARA, J. M. **Revista: O setor elétrico – Capítulo III – Manutenção preditiva e detectiva**. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/revista-eletronica/book/7-marco2010/3-2010.html>> Acesso em: 19 de fev. de 2014, 2010.

ARIKAWA, K. C. O. **Perdas Reais em Sistemas de Distribuição de Água – Proposta de Metodologia para Avaliação de Perdas Reais e Definição das Ações de Controle**. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. (Hidráulica e Saneamento). 2005. 200 p. Dissertação (Mestrado). São Paulo/SP. Outubro, 2005.

AWWA. Relatório “Applying Worldwide BMPs in Water Loss Control” – **Journal AWWA**: Agosto 2003 - AWWA Water Loss Control Committee, 2003.

BRANCO, G. M.; BRANCO, F. C. **Inventário de fontes móveis: análise prospectiva e retrospectiva dos benefícios do Proconve para a qualidade do ar desde 1980 a 2030**. Trabalho realizado para o Ministério do Meio Ambiente com o suporte da Fundação Hewlett. mar. 2007.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. **Administração de produção e operações - manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**, 2ª edição, 5. Reimpressão, Editora Atlas – São Paulo. 2010.

GUIMARÃES, B. V. C.; SOUZA, E. B., ABREU, A. M. A., DONATO, S. L. R., ASPIAZU, I. Captação e aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis e potáveis . **Enciclopédia Biosfera.**, v.11, p.2926 - 2939, 2015.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.**3ª ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

MARQUES & SOUSA. 2008. **Hidráulica Urbana. Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais.** José Alfeu Sá Marques, Joaquim José de Oliveira Sousa. Editora Imprensa da Univ. de Coimbra. Setembro de 2008.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**, Brasília, 2013.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, **II Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa** - Relatório de Referência: Emissões de Gases de Efeito Estufa no Tratamento e Disposição de Resíduos. Disponível em: <www.mct.gov.br/upd_blob/0219/219301.pdf>, 2010.

NIGEL, S.; CHAMBERS, S. **Administração de Produção.** 1ª edição, Editora Atlas, São Paulo - SP 2010.

PNUD – ONU. **Relatório do Desenvolvimento Humano. A água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água.** Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento –PNUD, 2006.

SANTOS, V. A. **Prontuário para a manutenção mecânica**, 1ª edição, Editora Ícone, São Paulo– SP 2010.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. 2003. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, 8 (1): 1019 1028, 2003.

SOUZA, E. C. Estudos para determinação do nível econômico de vazamento na rede de distribuição de água da zona baixa de Maceió, UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL CENTRO DE TECNOLOGIA - **CTEC Programa de pós graduação em recursos hídricos e saneamento**, 2011.

SOARES, L. et al. **Mitigação da emissão de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana de açúcar produzido no Brasil.** Embrapa, abr. (Circular Técnica, n. 27), 2009.

TINOCO, J. E. P.; ROBLE. L. T. **A contabilidade da gestão ambiental e sua dimensão para a transparência empresarial: estudo de caso de quatro empresas brasileiras com atuação global.** RAP Rio de Janeiro 40(6):1077-96, Nov./Dez. 2006.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e controle da manutenção**, 1º edição, Editora Qualitymark, Rio de Janeiro– RJ, 2002, Versão impressa no Brasil em 2006.