

## 24º. Encontro Técnico AESABESP

### ANÁLISE DE CICLO DE VIDA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: O CASO DO SIAA DE FEIRA DE SANTANA

**Eduardo Cohim** <sup>(1)</sup>

Professor adjunto do curso de Engenharia Civil e do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana

**Ana Luiza Guanais**

Mestranda do curso de Engenharia Civil e Saneamento Ambiental UEFS

**Laís Portela**

Graduada do curso de Engenharia Civil da UEFS

**RESUMO** Água e energia possuem inter-relações estreitas: um é necessário para a produção do outro. Produzir energia depende de água, seja para resfriamento, seja para acionamento de turbinas como no caso da hidroeletricidade. A energia elétrica está incorporada em todas as etapas da produção de água da captação até a distribuição. Este artigo apresenta o estudo para avaliar a quantidade de energia incorporada na fase de operação de um sistema de abastecimento de água, levando em conta, também, o uso indireto de energia na forma de produtos químicos e tubos para substituição na rede de distribuição. Conclui-se que 1,0 m<sup>3</sup> de água consumida incorpora 1,96 kWh, dos quais 1,55 de forma direta, principalmente em bombeamento. Os resultados obtidos mostram que a energia incorporada à água consumida em um mês numa família de quatro pessoas corresponde ao consumo de uma geladeira (19KWh/mês) de 190 L mais uma lâmpada de 60W funcionando 5 hora por dia, o que representa mais de 20% do consumo de eletricidade de uma residência média. A análise do impacto de ações para redução de perdas e de gestão da demanda mostram que o consumo de energia pode ser reduzido em 15.000 MWh, 37% do total gasto atualmente.

**ABSTRACT** Water and energy have close inter-relations: one is necessary for the production of another. Produce energy depends of water, is for cooling, is to drive turbines as in the case of hydroelectric power. The electrical energy is incorporated in all stages of water production from collection, passing by treatment, to distribution. This article presents a study to evaluate the amount of energy incorporated in the operation phase of a water supply system, taking into account, also, the indirect use of energy in the form of chemical products and tubes for replacement in the distribution network. It is concluded that 1.0 m<sup>3</sup> of water consumed incorporates 1.96 kWh, of which 1.55 directly, especially in pumping. The results obtained show that the embodied energy of water consumed in a month in a family of four people corresponds to the consumption of a refrigerator (19KWh/month) of 190 L more a lamp 60W working 5 hour a day, which represents more than 20% of electricity consumption of an average residence. The analysis of the impact of actions for reducing losses and management demand show that energy consumption can be reduced by 15,000 MWh, 37% of the total spent today.

**PALAVRAS-CHAVE:** Abastecimento de Água, Energia incorporada, ACV energética.

## INTRODUÇÃO

A relação entre recursos energéticos e hídricos deve ser considerada sob duas perspectivas importantes. A primeira aborda a utilização dos recursos hídricos para o suprimento de recursos energéticos e, a segunda, a utilização dos recursos energéticos para o suprimento

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av Transnordestina s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8056 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: edcohim@gmail.com

de águas (para uso urbano e agrícola). Ou seja, a energia é utilizada para tratar e transportar a água e a água é utilizada para produção de energia seja para resfriamento, acionamento de turbinas como no caso da hidroeletricidade.

A energia é necessária em todos os estágios do ciclo de uso da água. Entretanto, é muito difícil medir a quantidade de energia consumida com o uso da água. As melhores informações disponíveis sobre o consumo energético devido ao uso e produção da água potável estão disponíveis nas companhias de saneamento básico (CEC, 2005).

Sistemas de abastecimento de água têm um importante papel no uso da energia tanto num plano global como no nacional. A energia elétrica está incorporada em todas as etapas do processo de produção de água desde a captação, passando pelo tratamento até a distribuição. Segundo James (2002), cerca de 2 a 3% da energia produzida no mundo é utilizada no bombeamento e tratamento de água. Esse valor chega a 3% no Reino Unido, segundo Rothausen e Conway (2011).

Dados do Balanço Energético Nacional - BEN (2010) indicam que a energia total consumida no Brasil, no ano de 2009, foi 466,2 TWh, enquanto que no saneamento, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento - SNIS (2011), com dados de 2009, o consumo de energia foi de 10,4 TWh, ou seja, 2,24% de toda eletricidade produzida, dos quais, 90% para acionamento dos conjuntos motor-bomba. De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética (2011), a partir de dados do SNIS 2007, a despesa com energia elétrica em 2007 atingiu o valor de R\$ 2,58 bilhões, representando, para a maioria das operadoras, o primeiro ou segundo item de custo.

Além do aspecto econômico, existem ainda as crescentes preocupações com o meio ambiente e com as emissões de gases que contribuem para o aquecimento global. A energia elétrica consumida no Brasil tem origem, majoritariamente, na geração hidrelétrica, responsável por 76,9%, seguida por termelétricas à base de combustíveis fósseis, que contribuem com 6,8%, enquanto que as demais formas de geração (nuclear, biomassa, eólica) representam 16,3%, como mostra o BEN (2010).

Ao contrário do que se costuma afirmar, a geração de hidroeletricidade é um uso consuntivo de água. Mekonnen e Hoekstra (2012) mostraram que as perdas por evaporação nos reservatórios são expressivas (0,30 m<sup>3</sup>/kWh para usinas hidrelétricas no Brasil) chegando, no caso de Sobradinho, a 1,4 m<sup>3</sup> por kWh gerado. Considerando-se um consumo médio de 1,0 kWh por metro cúbico de água produzido, conclui-se que são necessários 1400 litros de água para gerar a energia necessária para captar, tratar e distribuir 100 litros.

Os impactos negativos nos ecossistemas decorrentes da construção de hidrelétricas já são bem conhecidos como alagamentos de regiões e mudança no regime de vazões, fragmentação do ecossistema aquático, salinização nas áreas alagáveis, com profundas repercussões para a fauna e flora aquática e ribeirinha, e todos os sistemas conectados.

No que tange aos impactos no clima, diversos pesquisadores mostram que usinas hidrelétricas do sistema nacional têm taxas de emissão de carbono da ordem de 0,10 tCeq por MWh gerado que, embora menores na média que as das termelétricas, não são desprezíveis (Rosa et al., 2004; Cardoso e Nogueira, 2009; Fearnside, 2008; Farrer, 2007). Considerando as emissões das termelétricas, 0,52 tCeq/MWh gerado, a média nacional de emissão de gases de efeito estufa seria de 0,12 tCeq/MWh gerado tendo por base as fontes utilizadas em 2007, quando a energia de origem fóssil tinha uma participação de 5% na geração do sistema interligado (CARDOSO e NOGUEIRA, 2009). É importante destacar que as taxas de emissão de carbono são maiores nas usinas mais próximas da linha do Equador, a próxima fronteira energética no Brasil, e a crescente utilização de termelétricas apontam para a elevação dessa taxa.

Assim, a discussão da energia associada ao uso da água é, também, uma discussão sobre mudanças climática e potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (MAAS, 2009).

A importância do insumo energia elétrica para os SAA é prática corrente para reportar indicadores de sustentabilidade que quantificam o consumo direto e indireto de energia, os

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av Transnordestina s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8056 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: edcohim@gmail.com

esforços para reduzir consumos energéticos apresentados, assim como a ineficiência do seu uso decorrente, principalmente, de perdas nas redes de distribuição, de rotinas operacionais impróprias e equipamentos inadequados.

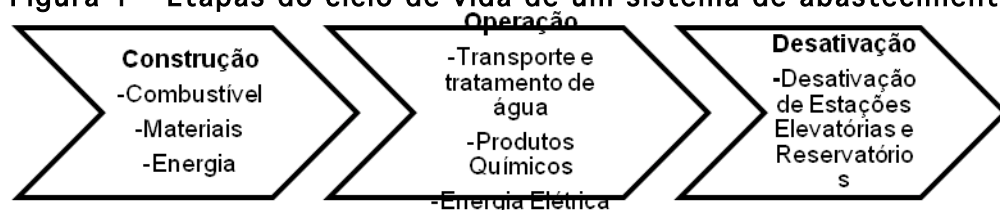
Com o objetivo de monitorar o consumo de energia, matérias-primas e geração de resíduos nos processos foram criada a ferramenta ACV para melhor utilização dos recursos naturais. Segundo Lima (2007), ACV é definida como uma técnica de compilação e avaliação das entradas e saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema produto ao longo do seu ciclo de vida.

Embora de grande utilidade para avaliação ambiental, as ACVs requerem tempo e recursos consideráveis para a sua execução (CHEHEBE, 1998). No estudo dos resultados de ACVs é recorrente que os impactos relativos ao consumo de energia sejam significativos. Visando a redução de tempo e recursos algumas ACVs coloca-se um foco mais específico na energia consumida originando os métodos de Análise do Ciclo de Vida Energético – ACVE. Nesse tipo de análise observa-se a importância da chamada Energia Embutida, a qual seria o conjunto dos insumos energéticos para a fabricação de materiais, transporte destes e outros insumos indiretos.

A intensidade energética nestas etapas do ciclo de uso da água é determinada, principalmente: pela origem da água, volume de água transportada, distância e topografia da região. Esta intensidade pode ser próxima de zero, para sistemas favorecidos pela gravidade. Entretanto, outros sistemas demandam o uso de bombas (acionadas por motores elétricos) para transportar grandes volumes de água bruta dos locais onde são coletadas, para as ETAs.

Essa análise deve ser feita de uma forma mais completa, levando em conta não só o consumo de energia em bombas e equipamentos, mas, também, aquele necessário à fabricação de produtos químicos, materiais usados no sistema e transporte. A avaliação de sistemas de abastecimento de água, numa perspectiva de análise do ciclo de vida energético, deve levar em conta três estágios: construção, operação e descomissionamento (Figura 1). Entretanto, a adoção da fase de operação como limite deste estudo se justifica pelo fato do uso de energia, na etapa de construção e de demolição, ocorrer como pulsos, em períodos de tempo curtíssimos, comparados à duração da vida útil do sistema (RACOVICIANU et al., 2007), além do que a fase de operação é mais intensiva no uso de energia conforme estudo de Lundie et al. (2004).

**Figura 1 - Etapas do ciclo de vida de um sistema de abastecimento água**



## **OBJETIVO**

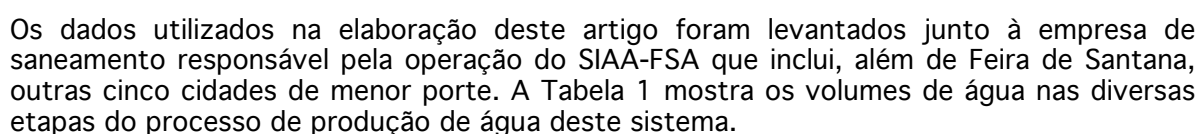
Este artigo irá avaliar a intensidade energética em sistemas de abastecimento de água na fase de operação, que retrata a vida útil do sistema de abastecimento de água, tomando, para estudo de caso, o Sistema Integrado de Abastecimento de Água Feira de Santana – SIAA-FSA

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O SIAA-FSA é composto por captação da água no lago da Barragem de Pedra do Cavalo (Rio Paraguaçu), elevatória de água bruta, tratamento de ciclo completo com capacidade

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av Transnordestina s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8056 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: edcohim@gmail.com

**Figura 2 - Croqui do Sistema de Abastecimento de água de Feira de Santana**



| ANO  | VOLUME ÁGUA   |               |               | UNIDADE |
|------|---------------|---------------|---------------|---------|
|      | CAPTAÇÃO      | DISTRIBUIÇÃO  | CONSUMO       |         |
| 2008 | 36.740.883,00 | 33.887.071,00 | 20.852.707,00 | m³      |
| 2009 | 38.797.643,00 | 35.802.687,00 | 22.536.986,00 | m³      |
| 2010 | 39.386.013,00 | 35.337.964,00 | 22.224.228,00 | m³      |
| 2011 | 40.391.518,00 | 35.346.623,00 | 22.195.361,00 | m³      |

A partir destes dados, pode-se constatar que um metro cúbico de água captada ou produzida não significa um metro cúbico de água para o consumidor. Assim, a unidade funcional adotada neste estudo foi um metro cúbico efetivamente entregue na ligação domiciliar, sem levar em conta os consumos não autorizados e perdas.

Os consumos energéticos relativos ao transporte (ET) de matérias primas e materiais acabados para o sistema, são calculados a partir da quantidade de material expressa em massa utilizada no processo da distância percorrida da origem até o ponto de aplicação e do consumo energético dos meios de transporte utilizados (TAVARES,2006).

No Brasil, o tipo dominante de transporte de materiais é rodoviário e foi avaliado por Tavares (2006), que estimou o uso de energia é de 1,62 MJ/ton.Km, sendo que um caminhão com capacidade de transportar 7,2 toneladas de carga, usa um litro de diesel (35MJ/l) para a condução de 3Km.

A distância de transporte dos materiais foi considerada tomando-se por base as unidades de fabricação mais próximas de Feira de Santana.

Para o consumo direto, foram analisados os consumos mensais de energia elétrica em cada unidade do sistema no período de 2008 a 2011, cujos resultados são sumarizados na Tabela 2.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av Transnordestina s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8056 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: [edcohim@gmail.com](mailto:edcohim@gmail.com)

**Tabela 2- Consumo de Energia Elétrica no SIAA de Feira de Santana**

| ENERGIA       |              |         |
|---------------|--------------|---------|
| PRODUÇÃO      | DISTRIBUIÇÃO | UNIDADE |
| 29.873.649,96 | 2.870.736,66 | KWh     |
| 31.993.556,28 | 2.695.827,54 | KWh     |
| 30.907.351,96 | 3.771.525,86 | KWh     |
| 29.755.897,52 | 4.049.536,00 | KWh     |

Fonte: Embasa

Deve-se esclarecer que, devido ao leiaute do sistema, a medição do sistema de produção inclui a mais importante estação de bombeamento para o sistema distribuidor.

Para o consumo indireto, considerou-se o consumo de produtos químicos no processo de tratamento (Tabela 3), os tubos utilizados para substituição na rede de distribuição e o transporte dos materiais. Para cálculo do consumo de produtos químicos, fez-se uso dos dados da Tabela 4, a qual mostra o teor energético dos produtos químicos usados no tratamento. Para os tubos, considerou-se uma massa de 1,54 kg/m (Amanco, 2012) e uma intensidade energética de 68,3 MJ/kg (FRIEDRICH et al., 2007). Admitiu-se ainda uma taxa de substituição de tubos danificados de 3,0% da extensão total da rede, por ano e que esses eram tubos de DN 75 mm de PVC, considerada uma condição média. Admitiu-se que os produtos químicos usados no tratamento da água para abastecimento público foram produzidos na fábrica Quimil localizada em Simoes Filho, a uma distância de 97 km de Feira de Santana.

**Tabela 3 – Consumo de Produtos químicos no tratamento de água**

| AN<br>O  | SULFATO<br>DE<br>ALUMINI<br>O | POLIMERO | CLOR<br>O | FLÚO<br>R | CAL    | UNIDADE |
|----------|-------------------------------|----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 200<br>8 | 2.601,40                      | 3,27     | 178,8     | 109,2     | 323,85 | Ton     |
| 200<br>9 | 3.110,23                      | 3,67     | 171,46    | 138,44    | 398,9  | Ton     |
| 201<br>0 | 2.968,18                      | 3,54     | 173,27    | 163,12    | 409,08 | Ton     |
| 201<br>1 | 3.131,13                      | 3,91     | 180,93    | 161,39    | 388,25 | Ton     |

**Tabela 4- Energia Embutida de produtos químicos usados no**

**tratamento de água**

| PRODUT<br>O<br>QUÍMICO | ENERGIA<br>EMBTIDA | UNIDADE | FONTE                                                          |
|------------------------|--------------------|---------|----------------------------------------------------------------|
| Sulfato de Alumínio    | 6.290,0            | MJ/ton  | Simapro 6.0- BUWAL250, Eco-indicator 99 (I)                    |
| Cloro                  | 20.130,0           | MJ/ton  | APME, Eco-profiles of the European plastic Industry, July 2006 |
| Cal                    | 6.500,0            | MJ/ton  | Simapro 6.0- BUWAL250, Eco-indicator 99 (I)                    |
| Polímero               | 44.682,0           | MJ/ton  | Owen William F. 'Energy in Wastewater Treatment'               |

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av Transnordestina s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8056 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: edcohim@gmail.com

|       |                              |        |                                                                                       |
|-------|------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|       | <b>Perdas</b><br><b>0,17</b> |        | <b>Perdas</b><br><b>0,60</b>                                                          |
| Flúor | 12.800,0                     | MJ/ton | Life Cycle Inventory of Biodeisel and Petroleum Diesel. Final Report, May 1998. NREL. |

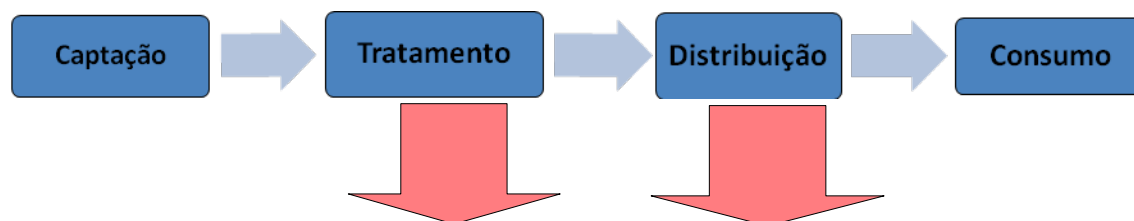
Fonte: Tripathi,2007

Os dados do sistema de Abastecimento de água da empresa responsável pelo abastecimento apresentam consumo energético para a produção de água que engloba a estação elevatória de água bruta (EEAB), a estação de tratamento (ETA) e estações elevatórias de água tratada (EEATs). Conforme já referido, a medição de energia relativa à produção engloba a EEAB, ETA e EEAT, assim, para obter um perfil de consumo mais representativo da produção e da distribuição, estimou-se a demanda de energia para cada uma das elevatórias, tomando-se 75% como o rendimento médio para ambas e as respectivas alturas manométricas de recalque.

## RESULTADOS

É necessário montar um balanço dos fluxos de água no SIAA para determinar os volumes equivalentes para cada estágio do ciclo de produção e distribuição da água (Figura 3), identificando-se uma perda de 9,6% no sistema produtor e de 37,8% no sistema distribuidor.

**Figura 3 - Balanço hídrico para 1,0 m<sup>3</sup> consumido no SIAA de Feira de Santana**



A partir dos volumes consumidos, produzidos e distribuídos, determinou-se a intensidade energética decorrente do uso direto de energia elétrica, conforme mostra a Tabela 5, cujo valor médio para o período dos dados foi de 1,55 kWh/m<sup>3</sup>, que corresponde a mais que o dobro da média nacional, de 0,70 kWh/m<sup>3</sup>, segundo o SNIS (2011). Essa intensidade energética pode, em grande parte, ser atribuída à topologia do sistema, o qual possui duas elevatórias com alturas manométricas superiores a 100 mca. Convém salientar que, segundo estudo realizado por Coltro, Garcia e Queiroz (2003) para o inventário de ciclo de vida do sistema elétrico brasileiro, o fator para energia primária para eletricidade no Brasil é de 1,6. Isso se traduz em que, para o consumo energético no SIAA de Feira de Santana, é necessário produzir cerca de 2,5 kWh para cada metro cúbico consumido.

**Tabela 5 - Intensidade energética no SIAA - Uso direto**

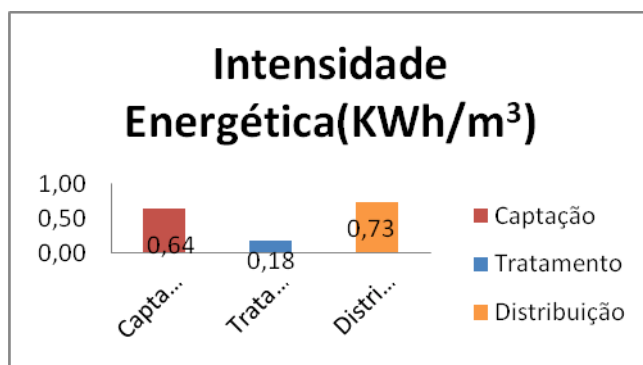
| ANO  | ENERGIA CONSUMIDA (kWh) |              | ÁGUA CONSUMIDA (m <sup>3</sup> ) | INTENSIDADE ENERGÉTICA-USO DIRETO (Kwh/m <sup>3</sup> ) |              |         |
|------|-------------------------|--------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------|---------|
|      | PRODUÇÃO                | DISTRIBUIÇÃO |                                  | PRODUÇÃO                                                | DISTRIBUIÇÃO | SISTEMA |
| 2008 | 29.873.649,96           | 2.870.736,66 | 20.852.707,00                    | 1,43                                                    | 0,14         | 1,57    |
| 2009 | 31.993.556,28           | 2.695.827,54 | 22.536.986,00                    | 1,43                                                    | 0,12         | 1,55    |
| 2010 | 30.907.351,96           | 3.771.525,86 | 22.224.228,00                    | 1,40                                                    | 0,17         | 1,57    |
| 2011 | 29.755.897,52           | 4.049.536,00 | 22.195.361,00                    | 1,34                                                    | 0,18         | 1,53    |

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av Transnordestina s/n - Novo Horizonte - Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8056 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: edcohim@gmail.com

|       |      |      |      |
|-------|------|------|------|
| Média | 1,40 | 0,15 | 1,55 |
|-------|------|------|------|

Como já mencionado, o registro do consumo de eletricidade na produção inclui a elevatória de água bruta (Altura Manométrica Total (Hman)= 120 mca) e a elevatória de água tratada (Hman= 123 mca). Para avaliar melhor as parcelas relativas a cada uma das etapas do sistema, foi feita a desagregação da energia atribuída à produção. Para isso, estimou-se o consumo de energia de cada uma dessas elevatórias admitindo-se um rendimento de 75%, ficando o saldo para a etapa de tratamento. A nova distribuição é mostrada na Figura 4.

**Figura 4 - Distribuição da intensidade energética (uso direto) (kWh/m³)**



Griffiths-Sattenspiel e Wilson (2009) citam como faixa típica para o consumo de eletricidade em sistemas de abastecimento de água de 0,33 a 1,72 kWh/m³. Os valores encontrados estão dentro da faixa observada em sistemas de abastecimento de água na Califórnia (CEC, 2005), mostrada na Tabela 5, exceto para a etapa de distribuição, cujo valor de 0,73 kWh/m³ no SIAA-FSA é fortemente influenciado pela elevada altura manométrica da estação elevatória de água tratada.

**Tabela 6- Faixas de intensidade energética e Sistemas de Abastecimento de água**

| Etapa        | Intensidade energética (kWh/m³) |      |
|--------------|---------------------------------|------|
|              | Baixa                           | Alta |
| Captação     | 0,00                            | 3,64 |
| Tratamento   | 0,03                            | 4,16 |
| Distribuição | 0,18                            | 0,31 |

Fonte: CEC,2005

Quantidades significativas de energia podem ser necessárias para a captação e adução de água até a estação de tratamento. A necessidade de elevação à altura manométrica no caso do SIAA-FSA explica o elevado valor encontrado. Adotando-se a normalização proposta por Alegre et. al (2000) o indicador de eficiência de bombeamento, Ph5, para a elevatória de água bruta seria igual a 0,53 kWh/m³/100m, maior que 0,40 kWh/m³/100m, proposto como meta para este indicador.

A quantidade de energia requerida no tratamento depende da qualidade da água bruta e tende a crescer na medida em que novos padrões, mais exigentes e que incluam novos contaminantes, sejam postos em prática (COHEN et al. 2004). Esses autores informam o consumo de eletricidade em quatro estações de tratamento de água na Califórnia, variando de 0,03 a 0,06 kWh/m³, sem, contudo, informar a origem da água tratada. Goldstein e Smith (2002) apresentam valores obtidos em sistemas de tratamento de água nos Estados Unidos entre 0,371 e 0,392 kWh/m³, enquanto Maas (2009) relata o valor médio de 0,47 kWh/m³ para nove sistemas no Canadá.

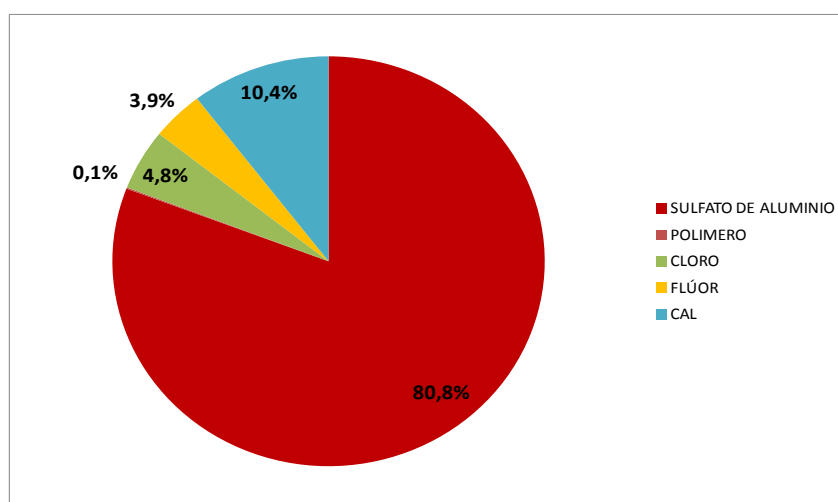
**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av Transnordestina s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8056 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: edcohim@gmail.com

A energia necessária na etapa de distribuição é, basicamente, para bombeamento da água, sendo muito influenciada pela topografia. Cohen et al (2004) reportam valores de 0,27 a 0,34 kWh/m<sup>3</sup> para redes com pressurização através de recalque. Maas (2009) analisou o consumo de eletricidade em cinco sistemas no Canadá e encontrou consumos de energia para distribuição de água entre 0,05 e 0,41 kWh/m<sup>3</sup>. No caso estudado neste artigo, o elevado valor está associado à necessidade de transposição de um obstáculo topográfico que requer uma altura manométrica elevada, sendo responsável por 0,58 kWh/m<sup>3</sup> nessa etapa do sistema.

#### Uso indireto - Produtos químicos

A estação de tratamento, do tipo convencional, utiliza produtos químicos no processo incluindo sulfato de alumínio, polímeros, cal, cloro e flúor, num consumo médio anual de 3.655,5 Toneladas, com uma predominância do sulfato de alumínio, cujo consumo, em termos mássicos, corresponde a 81% do total de químicos (Figura 5). O consumo médio, de 166,3 g/m<sup>3</sup>, é de magnitude similar ao valor observado por Landu e Brent (2006) na África do Sul.

**Figura 5 - Distribuição percentual da massa de produtos químicos consumidos**



A Tabela 7 mostra os consumos de energia utilizada na produção dos produtos químicos usados no tratamento. Embora a intensidade energética seja a menor entre os produtos usados (Tabela 4), a massa de sulfato de alumínio utilizada faz com que esse produto seja responsável por 70% do total da energia indireta incorporada.

Admitiu-se que os produtos químicos usados no tratamento da água para abastecimento público foram produzidos na Indústria Quimil, localizada na Vila Periférica I, Simões Filho-Ba que está a uma distância de 97 km de Feira de Santana.

**Tabela 7 - Energia consumida dos produtos químicos**

| ANO  | SULFATO DE ALUMINIO | POLIMERO  | CLORO        | FLUOR      | CAL        | TOTAL        | UNIDADE |
|------|---------------------|-----------|--------------|------------|------------|--------------|---------|
| 2008 | 4.545.223,89        | 40.598,56 | 999.762,04   | 388.248,89 | 584.729,17 | 6.558.562,55 | KWh     |
| 2009 | 5.434.257,73        | 45.525,99 | 958.747,17   | 492.213,33 | 720.236,11 | 7.650.980,34 | KWh     |
| 2010 | 5.186.066,56        | 43.912,48 | 968.845,72   | 579.964,44 | 738.609,44 | 7.517.398,64 | KWh     |
| 2011 | 5.470.785,56        | 48.529,61 | 1.011.700,00 | 573.824,00 | 700.997,90 | 7.805.836,07 | KWh     |

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av Transnordestina s/n - Novo Horizonte - Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8056 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: edcohim@gmail.com

|       |              |           |            |            |            |              |     |
|-------|--------------|-----------|------------|------------|------------|--------------|-----|
| 1     | 16           | 2         | ,25        | 0          | 2          | 94           |     |
| Média | 5.159.083,33 | 44.641,66 | 984.763,79 | 508.562,67 | 686.143,16 | 7.383.194,62 | KWh |

**Tabela 8 - Energia consumida para transporte dos produtos químicos**

| ANO   | SULFATO DE ALUMÍNIO | POLÍMERO | CLORO     | FLUOR     | CAL       | UN | ENERGIA CONSUMIDA TOTAL | UN  |
|-------|---------------------|----------|-----------|-----------|-----------|----|-------------------------|-----|
| 2008  | 429.855,34          | 540,33   | 29.544,91 | 18.044,21 | 53.512,97 | MJ | 147.638,27              | KWh |
| 2009  | 513.934,41          | 606,43   | 28.332,05 | 22.875,83 | 65.914,24 | MJ | 175.461,93              | KWh |
| 2010  | 490.462,06          | 584,95   | 28.631,13 | 26.953,95 | 67.596,38 | MJ | 170.619,02              | KWh |
| 2011  | 517.387,92          | 646,09   | 29.896,87 | 26.668,08 | 64.154,43 | MJ | 177.431,50              | KWh |
| Média | 487.909,93          | 594,45   | 29.101,24 | 23.635,52 | 62.794,50 | MJ | 167.787,68              | KWh |

A Tabela 9 mostra a intensidade energética decorrente do uso de produtos químicos no tratamento da água. O valor médio encontrado de 0,34 KWh/m<sup>3</sup> está bem acima de valores encontrados na literatura, como, por exemplo, 0,04 kWh/m<sup>3</sup> (RACOVICÉANU et al., 2007) e 0,01 kWh/m<sup>3</sup> (MAAS, 2009), este último considerando apenas o uso de cloro, mas ligeiramente abaixo do que foi encontrado por Tripathi (2007), igual a 0,59 kWh/m<sup>3</sup>.

**Tabela 9-Intensidade Energética total dos produtos químicos**

| ANO   | ENERGIA PRODUÇÃO (KWh) | ENERGIA TRANSPORT E (KWh) | ENERGIA TOTAL (KWh) | ÁGUA CONSUMIDA (m <sup>3</sup> ) | INTENSIDADE ENERGÉTICA (KWH/m <sup>3</sup> ) |
|-------|------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|
| 2008  | 6.558.562,55           | 147.638,27                | 6.706.200,82        | 20.852.707,00                    | 0,32                                         |
| 2009  | 7.650.980,34           | 175.461,93                | 7.826.442,27        | 22.536.986,00                    | 0,35                                         |
| 2010  | 7.517.398,64           | 170.619,02                | 7.688.017,66        | 22.224.228,00                    | 0,35                                         |
| 2011  | 7.805.836,94           | 167.787,68                | 7.973.624,62        | 22.195.361,00                    | 0,36                                         |
| Média | 7.383.194,62           | 165.376,73                | 7.548.571,34        | 21.952.320,50                    | 0,34                                         |

#### Uso indireto – Tubos para reposição

A segunda parcela de uso indireto de energia considerada neste trabalho, relativo à substituição de tubos na rede de distribuição, é mostrado na Tabela 10, evidenciando o valor pouco expressivo para esse componente.

**Tabela 10 – Intensidade Energética: Uso indireto (Substituição de Tubulação)**

| TUBULAÇÃO                | UNIDADE          |
|--------------------------|------------------|
| Comprimento da Tubulação | 1.756.000,00 M   |
| Massa por metro          | 1,54 kg/m*       |
| Taxa de substituição     | 3,00%            |
| Comprimento Substituído  | 52.680,00 M      |
| Massa (kg)               | 81.267,68 Kg     |
| Energia/Massa (MJ/kg)    | 68,3 MJ/kg       |
| Energia (kWh)            | 1.541.828,48 kWh |

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av Transnordestina s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8056 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: edcohim@gmail.com

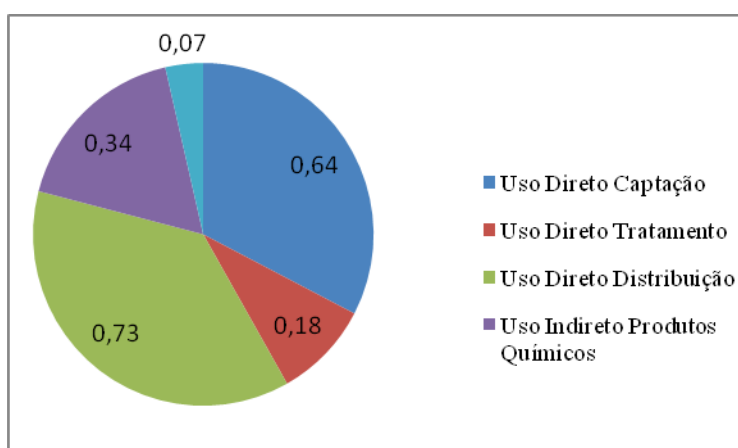
|                                              |      |                    |
|----------------------------------------------|------|--------------------|
| Intensidade energética (kWh/m <sup>3</sup> ) | 0,07 | kWh/m <sup>3</sup> |
|----------------------------------------------|------|--------------------|

\*Considerando tubos de 75mm

O consumo energético para o transporte de tubos apresenta um valor insignificante. Considerando a produção de tubos no pólo petroquímico de Camaçari.

Com este valor, chega-se ao total de 1,96 kWh/m<sup>3</sup> de intensidade energética no SIAA, distribuído conforme mostrado na Figura 6. Considerando o consumo de água per capita médio no SIAA-FSA, igual a 121 L, a energia incorporada na água consumida em uma residência com quatro pessoas seria de 27,7 kWh. Isso parece pouco, mas representa mais de 20% do consumo mensal de energia em uma residência média em Feira de Santana em 2011, igual a 110 kWh (SEI, 2012). Essa energia seria suficiente para o funcionamento de uma geladeira de 120 L (19 kWh por mês) e mais uma lâmpada de 60 W ligada 5 horas por dia.

**Figura 6 - Intensidade energética para o SIAA de Feira de Santana (kWh)**



A energia incorporada na água distribuída no SIAA-FSA, média do período de 2008 a 2011, é 41.928.000 kWh por ano. As oportunidades para reduzir esse valor incluem a redução de perdas, tanto na produção quanto na distribuição, e as ações de gestão da demanda que reduzam o volume consumido.

Assim, foram analisados quatro cenários de redução do volume de água no sistema e seus impactos no consumo de energia. Para o Cenário 1, considerou-se a manutenção das condições atuais, com perdas de 37,8% no sistema distribuidor e de 9,6% no sistema produtor. No Cenário 2, admitiu-se uma redução das perdas na distribuição para 30% do volume disponibilizado. No Cenário 3, admitiu-se uma redução adicional das perdas no sistema produtor para o valor de 3%. Finalmente, no Cenário 4, admitiu-se uma redução de 25% no consumo de água decorrente do uso de aparelhos economizadores. Os resultados são apresentados na Figura 7.

**Figura 7 - Consumo de energia para quatro cenários**



Feira de Santana - BA - CEP: 44.000-000  
Fone: (71) 3056 - e-mail: siasa@feirasantana.ba.gov.br

A redução das perdas no sistema distribuidor produziria uma economia de 12,3% no consumo de energia em relação ao cenário atual, que aumentaria para 15,9% com a redução das perdas no sistema produtor. Com a redução do consumo resultante de ações de gestão da demanda, a economia no consumo de energia atingiria 36,9%, correspondendo a cerca de 15.500 MWh.

À luz desses resultados, as ações de gestão da demanda emergem como a estratégia para reduzir a quantidade de energia usada em sistemas de abastecimento de água, bem como os impactos associados à produção de eletricidade.

## **CONCLUSÃO**

A produção de água potável é relativamente intensiva no uso de eletricidade, demandando, no SIAA de Feira de Santana, 1,96 kWh/m<sup>3</sup>, incorporando à água consumida numa residência média uma quantidade de eletricidade equivalente a mais de 20% do consumo de energia.

A maior parcela, 1,37 kWh/m<sup>3</sup>, 72% do total, é atribuível a bombeamento, seja de água bruta, seja de água tratada, valor fortemente influenciado pela topologia do sistema.

O consumo de produtos químicos é responsável pela incorporação de 0,34 kWh/m<sup>3</sup>, correspondendo a 18% do total e a 65% da energia incorporada na etapa de tratamento.

As ações de redução de perdas e de gestão da demanda podem gerar uma economia de energia de 37%, equivalente a 15.500 MWh.

## **RECOMENDAÇÕES**

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Empresa Baiana de Águas e Saneamento – EMBASA pelo fornecimento dos dados utilizados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEGRE, Helena; HINNER, Wolfram; BATISTA, Jaime; PARENA, Renato; *Performance indicators for water supply services*, International Water Association, 2000.
2. AMANCO. *Manual Técnico: Ductilfort*. 2012
3. CARDOSO, R. B. e NOGUEIRA, L. A. H. *Estudo de emissões de gases de efeito estufa de reservatórios brasileiros*. Universidade Federal de Itajubá – Centro de Excelência em Eficiência Energética. 2009.
4. CEC-California Energy Commission. *California's Water – Energy Relationship*. CEC-700-2005-011-SF. 2005.
5. CHEHEBE, José Ribamar. *Análise do Ciclo de Vida dos produtos – ferramenta gerencial da ISO 14.000*. Ed. Qualitymark. Rio de Janeiro. 1998
6. CLAIN, Gary; KREBS, Martha; HALL, Valerie; O'BRIEN, Terry; B. B. BLEVINS; *California's Water – Energy Relationship*, California Energy Commission, 2005.
7. COHEN, Ronnie; WOLFF, Gary; NELSON, Barry; *Energy down the drain: the hidden costs of California's water supply*. New York: NRDC/Pacific Institute, 2004. 86 p.
8. COLTRO, L.; GARCIA, E. L. C.; QUEIROZ, G. C. *Life Cycle Inventory for electric energy system in Brazil*. The International Journal of Life Cycle Assessment, volume 8, no. 5 (2003), 290-296.
9. ELETROBRÁS. *Eficiência energética em sistemas de bombeamento*. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.
10. FARRÉR, Claudia; *Hydroelectric Reservoirs – the Carbon Dioxide and Methane Emissions of a “Carbon Free” Energy Source*. ETH, 2007.
11. FEARNSIDE, P.M. 2008. *Hidrelétricas como “fábricas de metano”: O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa*. *Oecologia Brasiliensis*, 12(1): 100-115.
12. FRIEDRICH, E; PILLAY, S.; BUCKLEY, CA. *The Use of LCA in the water industry and the case for an environmental performance indicator*, Water SA, Vol. 33, nº 4, 2007.
13. GOLDSTEIN R.; SMITH W.; *Water and Sustainability: U.S. Electricity Consumption for Water Supply & Treatment—The Next Half Century*, EPRI, Palo Alto, CA: 2000. 1006787.
14. GRIFFITHS-SATTENSPIEL, Bevan; WILSON, Wendy, *The Carbon Footprint of Water*, River Network Report. 2009.
15. JAMES, K. et. al. *Água e Energia - Aproveitando as oportunidades de efficientização de água e energia não exploradas nos sistemas municipais*. Aliança para Conservação de Energia. 159p. 2002.
16. LANDU, Landu; BRENT, Alan; *Environmental Life Cycle Assessment of Water Supply in South Africa: The Rosslyn Industrial Area a Case Study*. Water S.A., Vol. 32, Nº 2, April, 2006.
17. LUNDIE, Sven; PETER, Gregory; BEAVIS, Paul- *Life Cycle Assessment for Sustainable Metropolitan Water System Planning*. *Eviron. Sci. Technol.*, 38, 2004.
18. LIMA, A. 2007. *AValiação do ciclo de vida no Brasil – inserção e perspectivas*. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador- Ba. Tese de mestrado.
19. MAAS, Carol, *Greenhouse Gas and Energy Co-Benefits of Water Conservation*. POLIS Project on Ecological Governance, 2009, 33pp.
20. MEKONNEN, M.M. and HOEKSTRA, A.Y. (2012) *The blue water footprint of electricity from hydropower*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1): 179-187.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av Transnordestina s/n – Novo Horizonte – Feira de Santana - BA - CEP: 44036-900 - Brasil - Tel: +55 (75) 3161 8056 - Fax: +55 (75) 31618056 - e-mail: edcohim@gmail.com

21. Plano Nacional de Eficiência Energética (2011) – Ministério de Minas e Energia, disponível em [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br), acessado em 15 de junho de 2012.
22. RACOVICIANU, Alina I.; KARNEY, Bryan W.; KENNEDY, Christopher A.; COLOMBO, Andrew F., *Life Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Inventory for Water Treatment System*, Journal of Infrastructure Systems, ASCE, 2007.
23. ROSA, L. P., SANTOS, M. A., MATVIENKO, B., SANTOS, E. O. and SIKAR, E.: 2004. *Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical regions. Climatic Change* **66**, 9–21, 2004, Netherlands.
24. ROTHAUSEN, Sabrina G. S. A.; CONWAY, Declan. *Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector*. Nature Climate Change, 2011.
25. SNIS (2011) – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO Ed. 15- Ano de referência 2009.
26. SEI, Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Municípios em síntese – Feira de Santana. Disponível em [www.sei.ba.gov.br/munsintese/index.wsp?tmp.cbmun.mun=2910800](http://www.sei.ba.gov.br/munsintese/index.wsp?tmp.cbmun.mun=2910800). Acesso em 19/06/2012.
27. TRIPATHI, Malavika. *Life-Cycle Energy And Impact Assessment For Water And Wastewater Systems: Case Studies In US*. Center for Sustainable Systems, Report No. CSS07-06 University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, April 17, 2007 - 22 pp.