

## **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL COM CAPTAÇÃO FLUVIAL PELA CONCESSIONÁRIA COMPARADO A CAPTAÇÃO PLUVIAL IN LOCO.**

**Hamilton de Araújo Silva Neto<sup>(1)</sup>**

Bacharel em Engenharia Civil e Mestrando em Saneamento Ambiental e-mail: enghamiltoneto@gmail.com

**Eduardo Henrique Borges Cohim Silva**

Doutor em Energia e Meio Ambiente (2011), Mestrado em Tecnologias Limpas (2006) e Graduação em Engenharia Sanitária. e-mail: [edcohim@gmail.com](mailto:edcohim@gmail.com)

**Jálvaro Santana da Hora**

Mestrando em Saneamento Ambiental , Graduação em Engenharia Ambiental. e-mail: jalvaro.hora@gmail.com

### **RESUMO**

O presente estudo avalia o ciclo de vida de oito diferentes modelos estruturais para aproveitamento de água de chuva em comparação quanto as emissões de gases estufa da manutenção de sistema convencional de fornecimento de água pela concessionária. Os resultados demonstraram que o maior peso quanto ao impacto das emissões foi associado a estrutura de reservação com uso de concreto armado independente da fonte de energia, com valores superiores inclusive ao sistema da concessionária. A proposição de diferentes sistemas de fornecimento de energia, concessionária ou energia solar não provocou diferença de impacto na geração de CO<sub>2</sub>.

**PALAVRAS-CHAVE:** Avaliação, Ciclo de Vida, Água de chuva

### **INTRODUÇÃO**

A água é um bem de grande importância a manutenção da vida humana, além de influenciar e participar de muitos fenômenos de considerável contribuição a manutenção da qualidade ambiental do nosso planeta, como evaporação, transpiração, precipitação e outros ligados a cadeia do ciclo hidrológico. Segundo Relatório da Avaliação Ecológica do Milênio (2005) a ONU estima que serão necessários 30% mais água para abastecer a crescente população mundial até 2030, dados da secretária de Censo dos Estados Unidos estimam crescimento mundial de cerca de 80 milhões de pessoas por ano (USCB, 2012), cenário preocupante se considerarmos ainda que o mesmo relatório ainda aponta que o uso global de água doce já ultrapassou entre 5% e 25 % o fornecimento disponível a longo prazo. Apesar disto o ser humano vem utilizando esse recurso tão vital as suas necessidades biológicas, e tão importante as suas atividades produtivas de maneira desordenada, contribuindo cada vez mais para comprometer a qualidade do recurso ainda disponível.

Segundo relatório da ANA (2015) Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, considerando a demanda consuntiva total de água estimada para o Brasil em 2010. O setor da irrigação é o responsável pela maior parcela de consumo (72% do total), seguido do consumo para fins de abastecimento humano urbano (9%), industrial (7%), animal (11%) e humano rural (1%). Quando buscamos um olhar mais aproximado dos dados referentes ao consumo humano podemos perceber que o consumo doméstico de água é representado por uma diversidade de usos, que muitas vezes exige recurso de menor qualidade para atender suas demandas como descarga em vasos sanitários, lavagem de pisos e passeio, lavagem de veículos e rega de jardins. Desta forma o consumo de água para fins domésticos representa grande potencial de utilização de fontes alternativas, visto a diferentes potencias de exigência e que hoje na maioria das residências se utiliza de água tratada e potável de qualidade referenciada para a sedentaçãoS em usos pouco exigentes que poderiam se utilizar de outras fontes.

Os estudos de BARRETO (2008) quanto ao consumo doméstico de água, observaram que em termos de participação percentual, pode-se comentar que o ponto de utilização de maior consumo é o chuveiro, com 13,9% seguido sucessivamente da torneira de pia 12,0%; máquina de lavar 10,9%; tanquinho 9,2%; torneira de tanque com máquina de lavar 8,3%; caixa acoplada 5,5%; torneira de tanque 5,4%; e torneira de lavatório com 4,2%. Os outros usos perfazem o restante, com 30,6%. O que justifica a busca por mais estudos quanto a implementação de medidas alternativas de fontes alternativas para o abastecimento domésticos de água.

Schoen et al. (2015) colabora com a percepção de aumento do interesse em abordagens visando a descentralização das fontes de água e utilização do reuso como alternativa para fins não potáveis, principalmente em regiões de escassez hídrica visando a redução de consumo de fontes hídricas potáveis. Para fins domésticos e águas de potencial tratamento local e reuso incluem;

- Água cinza: águas residuais provenientes de banheiras, chuveiros, pias de banheiro, e máquinas de lavar roupa, excluindo vaso sanitário e em mais casos águas residuárias de máquina de lavar louça e pia da cozinha;
- Água Negra: águas residuais provenientes de instalações sanitárias e às vezes incluindo da pia da cozinha;
- Água de Chuva: precipitação recolhida de superfícies de telhado ou outras superfícies de coleta acima do solo;
- Águas Pluviais: precipitação recolhida a partir do nível do solo;
- Água de infiltração: precipitação que passou através do solo.

Neste contexto inclui-se a captação de águas pluviais em residências se constitui em técnica milenar que ganha espaço nos dias atuais, especialmente nas zonas áridas ou remotas onde o fornecimento de água através de redes canalizada é inviável economicamente ou tecnicamente não é viável. Sazakli et. al. (2007).

Na busca de um entendimento mais amplo quanto ao impacto da implantação de uma estrutura de aproveitamento residencial de água de chuva e suas relações com o ambiente, faremos por meio da metodologia de Análise de Ciclo de Vida – ACV, uma análise de impacto de uma estrutura mínima para implantação de tal sistema e a perspectiva de sua não implantação.

A ACV quantifica e avalia os aspectos ambientais e seus impactos potenciais, associados ao ciclo de vida de um serviço, processo, atividade ou produto. Seu estudo compreende quatro fases: definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impacto; e interpretação.

## **OBJETIVOS DO TRABALHO**

### **Geral**

- Quantificar a demanda acumulada de energia e as emissões de gases de efeito estufa em 8 sistemas de aproveitamento de água de chuva com características estruturais diferentes.

### **Específicos**

- Comparar as emissões de GEE e consumo de energia de diferentes Cenários para o sistema estudado;
- Interpretar e comparar os resultados da ACV e avaliação do impacto em relação aos objetivos do estudo;

## **METODOLOGIA**

A técnica de avaliação ambiental aplicada neste estudo foi a Avaliação do Ciclo de Vida-ACV, baseada na NBR ISO 14040 (2009a) e NBR ISO 14044 (2009b). Este estudo foi realizado em quatro etapas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação dos resultados de acordo a norma.

O modelo aplicado é ACV atribucional, uma vez que o sistema avaliado pode ser observado/medido e liga os processos individuais dentro da tecnosfera ao longo do fluxo de matéria, energia e serviços.

A partir da apropriação do objeto de estudo e do conhecimento dos temas, estabeleceu-se a fase de objetivo e escopo da ACV, com a definição da aplicação pretendida, da função do sistema, da unidade funcional, da fronteira do sistema, dentre outros atributos.

### **Escopo**

#### **Sistema Estudado**

O sistema geral é composto de uma estrutura realizada para captação de água de chuva, armazenamento e bombeamento da mesma para o aproveitamento nos diversos usos de uma residência, composta de único pavimento. Em todos os cenários o reservatório de armazenamento teve capacidade considerada de 2.500 L, variando para 2 composições diferentes (Poli Etileno (PE) e Concreto Armado), além de dois tipos de calhas (Aço e PVC) e proposta dois tipos de fonte primária de energia, solar e Sistema convencional para cada um dos tipos de reservatório.

Em relação ao consumo de energia consideramos que para produção de 1m<sup>3</sup> de água é consumido 0.08 Kwh independente da fonte de energia, a bomba utilizada em todos os sistemas possui potência de 75 W (1/10cv).

A consideração geral do processo é que a partir de uma superfície de captação instalada no telhado, a água de chuva foi coletada por duas calhas de 7 m de comprimento e sistema de tubulação de 30 m, todos os materiais considerados têm

por composição PVC, exceto as calhas que podem ser de zinco ou PVC, sendo conduzida a reservatório instalado ao nível do solo, e posteriormente bombeada para suprir o uso da residência.

Cenário 1: Reservatório PE, Calha de Zinco Fonte de Energia Solar

Cenário 2: Reservatório PE, Calha de PVC Fonte de Energia Solar

Cenário 3: Reservatório PE, Calha de PVC, Fonte de Energia da Concessionária

Cenário 4: Reservatório PE, Calha de Zinco, Fonte de Energia da Concessionária

Cenário 5: Reservatório Concreto Armado, Calha de Zinco Fonte de Energia Solar

Cenário 6: Reservatório Concreto Armado, Calha de PVC Fonte de Energia Solar

Cenário 7: Reservatório Concreto Armado, Calha de PVC, Fonte de Energia da Concessionária

Cenário 8: Reservatório Concreto Armado, Calha de Zinco, Fonte de Energia da Concessionária

\*Foi considerado que toda residência previamente já possua um reservatório elevado, ou seja, a inclusão de somente um reservatório para atender o sistema de aproveitamento da água de chuva

### Unidade Funcional

A unidade funcional adotada foi de 1m<sup>3</sup> de água efetivamente consumida

### Fronteira do Sistema

As fronteiras do nosso sistema se resumem a coleta, armazenamento e consumo de água, sem considerar a etapa de fabricação do tanque, mas considerando o ACV de produção das matérias primas e transporte dos materiais utilizados (Tubulações, reservatório e Bomba), montagem do processo e consumo de energia da bomba. Não será considerado descarte dos materiais utilizados e tempo de utilização previsto de 50 anos.

### Análise do inventário

Os dados das informações da energia embutida e emissão de dióxido de carbono equivalente da produção de PVC, PE, Concreto e Aço foram utilizados dados secundários oriundos do banco de dados do Ecoinvent®.

Os dados quantitativos de produtos químicos utilizados pela produção de água pela concessionária local foram obtidos através do trabalho de Guanais (2014), sendo que a autora utilizou banco de dados do Ecoinvent para obter as informações da energia embutida e emissão de CO<sup>2</sup> equivalente destes produtos químicos.

### Qualidade dos dados

Segundo a norma ISO 14044/2009 os requisitos de qualidade dos dados devem ser atendidos quando se pretende utilizar o estudo em afirmações comparativas. O presente estudo não abrange todos os requisitos.

### Cálculo das entradas e saídas do inventário

Considerando os materiais e produtos informados acima que vão compor os cenários do sistema, descreveremos as referências de dimensionamento utilizadas para determinação da composição de tais produtos;

- Dutos de PVC, (DN 25): Utilizados para ligação entre o reservatório inferior e reservatório superior, dimensões, 25 mm de Diâmetro, espessura de 1,7 mm e densidade de 1,32 g/cm<sup>3</sup>, dados referenciados pelo Catálogo da Tigre.

Cálculo do Perímetro;  $P = \pi (r + e)^2 - \pi r^2$  (Utilizado para retirar a área interna, sendo r = 25 mm, e = 1,7mm, P = 0,000276 m<sup>2</sup>)

Calculo do Volume;  $v = P \cdot m$ , m = 15, d = 1320kg/m<sup>2</sup>, V = 0,00414 m<sup>3</sup>, 5,46 Kg

- Dutos de PVC, (DN 100): Utilizados para ligação entre o reservatório inferior e reservatório superior, dimensões, 100 mm de Diâmetro, espessura de 1,8 mm e densidade de 1,32 g/cm<sup>3</sup>, dados referenciados pelo Catálogo da Tigre.

Perímetro, P = 0,001141 m<sup>2</sup>

Volume, V = 0,0171 m<sup>3</sup>

Peso = 22,58 kg

- Calha de PVC, (DN 100): Utilizados para ligação entre o reservatório inferior e reservatório superior, dimensões ,100 mm de Diâmetro, espessura de 1,8 mm e densidade de 1,32 g/cm<sup>3</sup>, dados referenciados pelo Catálogo da Tigre.

Peso = 9,33 kg

- Calha de Aço Zincado Quadrada, (DN 100): Utilizados para ligação entre o reservatório inferior e reservatório superior, dimensões ,100 mm de Diâmetro, conforme referência é estabelecido peso de 6,81kg para cada 6 m, considerando calha utilizada de 14 m peso total de 15,89 kg dados referenciados pelo Catálogo da MOPA. Utilizamos como referência no Simapro, stell global.

Peso = 34,05 kg.

- Bomba de 1/10 Cv e 75 w, em referência ao dado de peso estabelecido em catalogo do fabricante, peso de 4,5 kg, utilizamos como referência no Simapro, Metal Work Machine Unspecified global.

- Reservatório de PE, V 2.500 L, em referência ao dado de peso estabelecido em catalogo do fabricante, peso de 55,48 kg, utilizamos como referência no Simapro, Polietileno de Alta densidade Global.

- Reservatório de Concreto armado, V 2.500 L, considerando a espessura das paredes de 10 cm e do piso e tampa de 15 cm, Dimensões 2,5m x 1m x 1m, CxLxA. Utilizamos como referência no Simapro, Concreat 25 mpa e Stell.

Volume, V= 1,2 m<sup>3</sup>, Densidade 2500 kg/m<sup>3</sup>

Peso= 3162 kg de Concreto

\*Consideramos que o peso de aço utilizado é de 75 vezes o volume de concreto, quando não estabelecido em projeto, assim:

Peso de aço = 114,0 Kg

Para o cálculo do consumo energético da bomba será considerado a soma do consumo de startup da bomba e seu funcionamento normal e o consumo no fim da operação utilizando as seguintes equações:

Consumo Total de Energia:

$$C_T = C_{su} + C_n + C_o$$

Consumo na operação constante

$$C_n = t_o \times C$$

Onde:

$t_o$  = Tempo de operação (h)

$C$  = Consumo por hora utilizada (Kw/h)

O fabricante da bomba fornece em seu manual o consumo de energia por hora utilizada que é 0,19kw/h.

De acordo com Tjandraatmadja, 2012 o startup de uma bomba d'água possui uma duração de 0,5 segundos que é aproximadamente 0,0014 horas, o consumo de energia é quatro vezes maior que o consumo no funcionamento normal, levando isso em consideração temos:

Consumo no Startup:

$$C_{su} = 4 \times C \times 0,0014$$

Fim de operação: quando o fluxo cessa, a bomba continua funcionando para ré-pressurizar a linha de stand-by (definido pelo fabricante da bomba). (Tjandraatmadja, 2012). O tempo não é definido pelo fabricante, então será adotado 0,5 segundos como ilustrado no trabalho de Tjandraatmadja, 2012.

Consumo no fim de operação

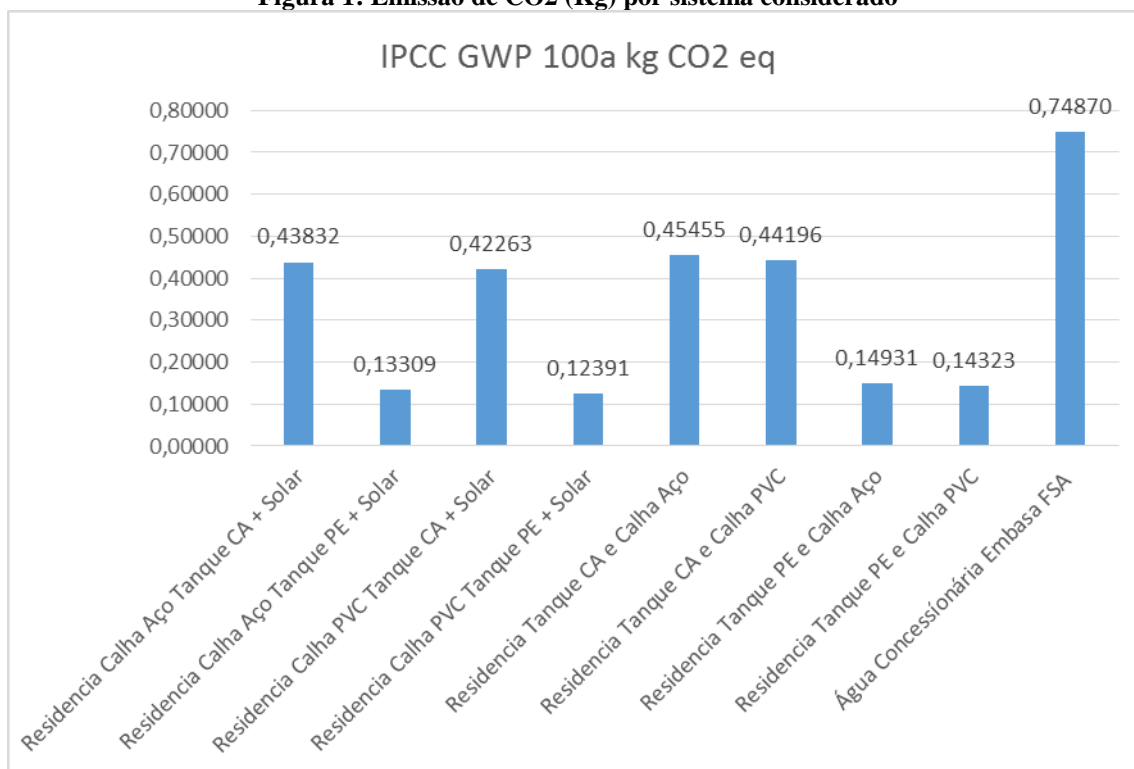
$$C_o = C \times 0,0014$$

O sistema SI terá um acionamento de bomba por dia, abastecendo um tanque superior de 500 Litros. A bomba escolhida levará 0,42 horas para encher o tanque superior, gerando um consumo total de 0,16 kwh/m<sup>3</sup>.

A vida útil do sistema será considerada de 50 anos, e consumo médio anual de 42 m<sup>3</sup> de água de chuva

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 1: Emissão de CO2 (Kg) por sistema considerado



Conforme o Gráfico 1 que referencia os dados de emissão CO2 (Kg), é possível observar que as maiores emissões para as estruturas propostas de fonte alternativa de água estiveram associadas as que possuíam tanque de concreto, independente da fonte de energia seja sistemas com energia solar ou energia da concessionária, o que demonstra que a cadeia produtiva associada a construção e instalação do tanque de concreto armado é mais significativo fator potencial de geração de CO2 equivalente do que a fonte de energia utilizada na operação, sendo um possível fator a ser considerado de intervenção e proposição de sistemas sustentavelmente mais eficientes com a busca de alternativas que possam representar menores emissões de CO2. Lembrando que quando comparado a fonte convencional já demonstra ganho em termos de emissões, com valores pelo menos 30% menores, ainda que considerando as estruturas alternativas de maior potencial de impacto.

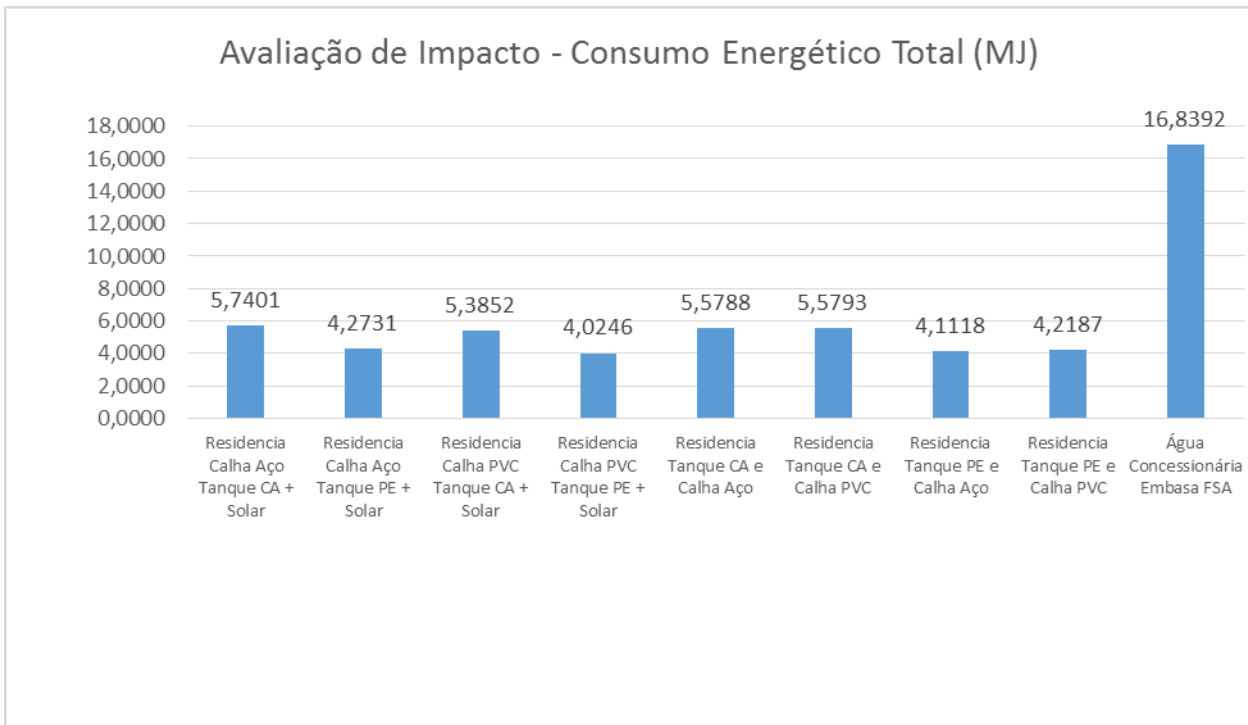
Destaca-se também que quando comparamos a emissão a partir de uso de energia solar ou uso de energia da concessionária, os valores entre estruturas iguais com fontes de energia diferentes apresentaram dados muito similares, por exemplo ao observarmos a estrutura considerada de “residência calha de Aço tanque PE + energia solar” apresentou 0,13309 de emissão de Kg de CO2 equivalente e a mesma estrutura com alteração da fonte de energia para a concessionária apresentou 0,14931 Kg de CO2” similaridade que podemos observar se comparamos as individualmente as estruturas a partir das diferentes fontes de energia, seja solar ou seja da concessionária.

Quando comparamos estruturas similares alterando somente o tipo do material da calha também é observada pouca diferença entre os dados, conforme podemos observar na estrutura Residência Calha PVC Tanque PE + Solar que apresentou emissão de Kg de CO2 equivalente de 0,12391 já a mesma configuração com calha de zinco apresentou valores da ordem de 0,13309 Kg de CO2.

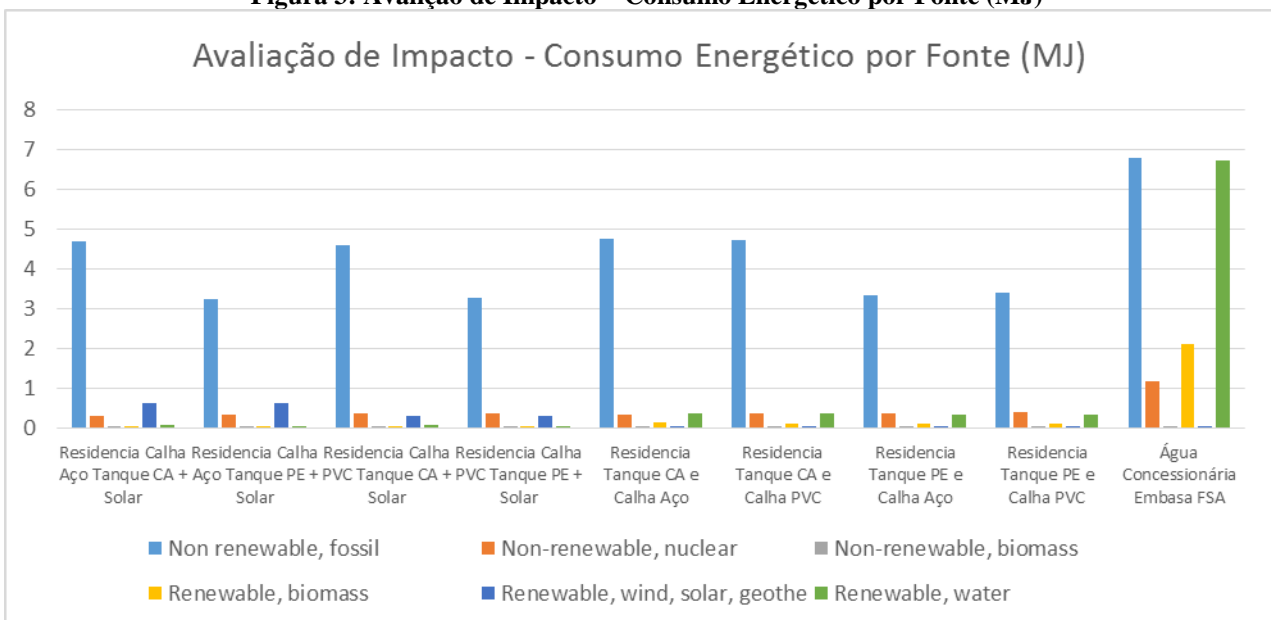
Portanto a fonte de energia utilizada assim como o tipo de calha se mostrou pouco significativa quanto a proporção no impacto provocado, tendo apresentando maior impacto o material utilizado no tanque, e assim se mostrando o fator mais significativo de geração de CO2 e um item de intervenção importante a ser considerado quando desejamos avaliar uma estrutura sustentável. O dado quanto a pouca diferença de geração em função da fonte energética seria até esperado em virtude do maior percentual da fonte de energia Brasileira ser renovável proveniente das hidrelétricas.

Quando realizamos a comparação de impacto entre sistemas de aproveitamento de água de chuva e a água fornecida pela concessionária, está se mostrou muito menos eficiente em termos de geração de CO2 equivalente do que todos os sistemas de AAC, mesmo os que se utilizavam de tanque de concreto como reservatório, e é necessário levar em conta ainda que para os sistemas de AAC estamos considerando o impacto do sistema desde a sua construção a destinação final e para o sistema da concessionária somente a operação. Estes resultados demonstram que apesar das variações apresentadas em termos de emissão de CO2 equivalente pelos sistemas de AAC considerados mesmo o sistema considerado de maior emissão, ainda assim foi mais limpo que o nível de emissão apresentado pela concessionária local para também fornecer água.

**Figura 2: Avaliação de Impacto – Consumo Energético Total (MJ)**



**Figura 3: Avaliação de Impacto – Consumo Energético por Fonte (MJ)**





Ao analisar os dados de consumo de energia dos sistemas propostos se observou pouca diferença entre os sistemas considerados, independente para a configuração proposta, diferindo somente o do sistema da concessionária que apresentou consumo superior com valor 16,83MJ/residência enquanto as outras propostas uma média em torno de 4,5 MJ/residência, o que indica um grande ganho com a implementação de tais sistemas, por exemplo considerando uma estimativa de consumo para uma cidade do porte de Feira de Santana – BA poderíamos estabelecer uma economia de cerca de 2 milhões de MJ ou em torno de 555 MWh de energia, considerado o Censo 2010 que estabelece um número de 162.748 domicílios em Feira de Santana.

## CONCLUSÕES

Concluimos que a implementação de estrutura de aproveitamento de água de chuva nas residências se mostra como um fator de grande potencial a contribuir na gestão sustentável dos recursos hídricos, porém em uma análise mais apurada do ciclo produtivo destas estruturas foi observado que em determinados casos, como no uso de reservatório de concreto armado, seu potencial de emissão de CO<sub>2</sub> equivalente se mostra significativamente superior na emissão, caso mantivéssemos o uso de fonte convencional da água, considerada como a fornecida pela concessionária, o que diminuiria no aspecto de avaliação de contribuição a gases de influência no clima e portanto a avaliação de sustentabilidade destes projetos se mostra como um fator conjunto importante a ser considerado.

Ainda de acordo aos dados analisados, a utilização de fonte solar de energia para abastecimento demonstrou pouco ganho em termos de emissão de CO<sub>2</sub> se comparado a alternativa de fornecimento de energia pela concessionária local, condição que pode ter acontecido em detrimento da maior parte da fonte energética nacional também ser considerada de potencial sustentável em virtude das hidrelétricas.

O sistema de aproveitamento de água de chuva residencial se mostrou ser menos impactante ao meio ambiente em comparação ao sistema convencional de abastecimento de água, considerando os aspectos analisados que foram, emissão de CO<sub>2</sub> e consumo energético.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 14040: gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro, 2009a.

BARRETO, D. *Perfil do consumo residencial e usos finais da água*. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, abr./jun. 2008.

BRASIL, Agência Nacional de Águas – ANA. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014* – Brasília. 2015.

GUANAIS, Ana Luiza da Silva Rezende et al. *Avaliação energética e das emissões de gases de efeito estufa do Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana*. 2015.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Relatório-Síntese da Avaliação Ecológica do Milênio*. 2005. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.446.aspx.pdf> Acessado em: 30 Nov. 2015.

SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M. *Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece*. *Water research*, v. 41, n. 9, p. 2039-2047, 2007.

SCHOEN, Mary E.; GARLAND, Jay. *Review of pathogen treatment reductions for onsite non-potable reuse of alternative source waters*. *Microbial Risk Analysis*, 2015.

USCB (United States Census Bureau). 2012. *International Programs. World Population*. Disponível em: [http://www.census.gov/population/international/data/worldpop/table\\_population.php](http://www.census.gov/population/international/data/worldpop/table_population.php), Acessado em; 30 Nov. 2015