

II-435 – AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA CONDENSADA EM EDIFICAÇÃO COMERCIAL DE GRANDE PORTE

Fernanda Ribeiro Guzzo⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestranda em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Graciele Zavarize Belisário⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Ricardo Franci Gonçalves⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Mestrado em DEA Sciences Et Techniques de L'environnement pela Ecole Nationale Des Ponts Et Chaussées, ENPC, França. Doutorado em Engenharia do Tratamento de Águas pelo Institut National Des Sciences Appliquées Toulouse, INSA - TOULOUSE, França. Pós doutorado em Technische Universität Berlin, TUBerlin, Alemanha. Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Fernando Ferrari, 514 –Campus de Goiabeiras - Vitória -ES - CEP: 29060-970 - Brasil - Tel: (27) 33352857 - **e-mail**: fernandarguzzo@mail.com

RESUMO

O presente artigo discute as possíveis fontes alternativas de água em uma edificação comercial de grande porte na região metropolitana do Espírito Santo, com foco na produção de água condensada para possíveis usos. Após uma análise preliminar de setorização de água na edificação o estudo mostrou que os maiores consumidores de água são torre de resfriamento, restaurantes e banheiros. Como base de comparação para o balanço hídrico, a pesquisa avaliou as fontes de águas residuais mais relevantes neste caso: a água cinza, a água de chuva e a água de condensação. Foi constatado que a água cinza produzida foi de um total de 2.320,2 m³/ano, enquanto a oferta de águas pluviais demonstrou que esta seria uma fonte de água capaz de suprir 64.950,8 m³/ano de água. Com relação à produção de água de condensação, verificou-se que 01 TR é capaz de produzir 5,83 litros de água por dia, gerando um total de 3.501,6 m³/ano de água condensada. Apesar da água pluvial ser uma importante fonte hídrica no local em termos quantitativos, a água condensada possui um potencial de aproveitamento relevante posto que trata-se de uma água com boa qualidade e produção não sazonal. Avaliando o seu uso para abastecer a torre de resfriamento, a água condensada representaria 10% do volume de água consumido por essa unidade.

PALAVRAS-CHAVE: Água condensada, aproveitamento de água, edificação comercial, balanço hídrico.

INTRODUÇÃO

Recentemente, o sudeste brasileiro sofre de uma escassez hídrica alarmante, em que no Espírito Santo a crise é referida como a pior dos últimos 40 anos, segundo a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH, 2015) e no estado de São Paulo é caracterizada como a maior estiagem que atingiu o estado nos últimos 84 anos (SABESP, 2014). Esse cenário trouxe efeitos adversos para os setores da economia devido às interrupções do abastecimento de água no meio urbano e, além disso, ao comprometimento do fornecimento de energia elétrica (FILHO, 2015).

Neste contexto, muitos municípios e estados têm adotado legislações que visam promover o reuso e o aproveitamento de águas residuais na tentativa de garantir o uso seguro dessas águas servidas, impactando não apenas edificações industriais, mas, sobretudo domésticas e comerciais.

Os shopping centers, por exemplo, são centros comerciais com grande impacto sobre a demanda de água em meio urbano, já que, segundo a Associação Brasileira de Shopping Centers (ABRASCE, 2017), eles atraem um tráfego de 444,26 milhões de pessoas todo mês e mais de 1 milhão de empregos diretos, exigindo uma alta demanda de água para sua operação e manutenção. Em termos de escassez de recursos hídricos e uso

sustentável da água, a gestão dos shopping centers pode ter um papel protagonista e exemplar nas soluções para cidades mais resilientes e sustentáveis.

Ao estudar a distribuição do consumo de água no shopping Rio Sul, Nunes (2006) conclui que o sistema de refrigeração é responsável pelo consumo de 24,32% de água da edificação. Em grandes empreendimentos comerciais, destaca-se o sistema de refrigeração como o grande vilão no que tange ao consumo de água.

Dessa forma, a utilização de fontes alternativas de suprimento de água para o uso em pontos de consumo não potável vem sendo cada vez mais disseminada como uma opção de conservação (AGUIAR, 2011). Mancuso e Manfredini (2005) mostraram que a utilização de água de reuso nas torres de resfriamento da subestação conversora de energia elétrica de Ibiúna, São Paulo, reduziu a captação de água superficial em termos de 25%, representando uma economia de 167 m³/dia de água potável.

Entre as ofertas de água comumente produzidas e disponíveis nas edificações estão: as águas pluviais, águas cinza e as águas de condensação. Diferentemente da água pluvial, a água cinza é produzida continuamente enquanto houver uso dos aparelhos sanitários. O reuso de águas cinza engloba a reutilização das águas oriundas de chuveiros, lavatórios, máquina de lavar roupas e louças mediante um sistema de tratamento (ALEXANDRE; CASTRO; PESQUERO, 2013).

Em centros comerciais como shopping centers, onde a produção de água cinza é relativamente pequena, o sistema de reaproveitamento pode não atender a demanda, inviabilizando economicamente a reutilização da água cinza nessas edificações (GOIS; RIOS; COSTANZI, 2015). Como alternativa, a associação de vários sistemas de aproveitamento e reaproveitamento de água pode ser vantajosa e representar uma economia significativa no resultado final, e neste aspecto a água condensada é um importante aliado.

Nestas edificações de grande porte, o resfriamento do ar é feito através de unidades centrais, compostas geralmente por Torres de Refrigeração e *Fancoils*, onde ocorre a condensação da água. Segundo GLAWE (2013), o fluido frio (água gelada) é circulado através de bobinas na seção do evaporador com a finalidade de resfriar o ar. À medida que o ar flui sobre as serpentinas de arrefecimento, a umidade do ar condensa sobre a superfície fria das bobinas e goteja para dentro de uma bandeja de drenagem.

Licina e Sekhar (2012) apontam que o condensado tem sido utilizado como fonte de água em edifícios industriais e comerciais, uma vez que proporcionam uma fonte de água não potável de qualidade relativamente boa sem qualquer tratamento adicional necessário.

Mesmo a água de condensação sendo sazonal, dependendo fortemente do clima e da região (COOK; SHARMA; GURUNG, 2014), sua qualidade é comparável à da água destilada, exigindo pouco ou nenhum tratamento para aplicações não potáveis (LICINA; SEKHAR, 2012; NASSAR; MOURA, 2015), podendo ser utilizada contribuindo em sistema de água cinza, abastecimento em torres de arrefecimento ou para utilização em irrigação.

As previsões da quantidade de condensado que será gerado dependem de várias variáveis, incluindo a condições do ar externo, pontos de ajuste para condições de ar interno, aquecimento, ventilação, tipo de sistema, configurações de ar condicionado, tipo e uso do edifício (GLAWE; 2013). Segundo Al-Farayedhi, Ibrahim e Gandhidasan (2014), a média de produção de condensado de um ar condicionado do tipo split, localizado na Arábia Saudita, é de 53 litros de água por dia, vale ressaltar que a temperatura e a umidade relativa na região variam de 25°C a 50°C.

Estudos sobre o potencial de aproveitamento de água condensada em diversos locais de clima quente e úmido afirmam que devido à remoção de minerais durante o processo de evaporação, a qualidade do condensado é semelhante à água destilada (LICINA E SEKHAR, 2012; DRINKWINE, SOVOCOL, MORGAN, 2012). Em geral, espera-se que a água obtida do vapor atmosférico seja de boa qualidade, com baixos teores de minerais e metais (HABEEBULLAH, 2009). Em estudo de Bryant e Ahmed (2008), os autores afirmam que a água testada teve boa qualidade e seria considerada aceitável para consumo humano com tratamento mínimo para contaminantes biológicos.

A alta qualidade da água condensada sugere que a implementação de uma estratégia de coleta pode levar a uma economia substancial, embora sazonal, e reduzir o impacto ambiental em diversas aplicações industriais nas quais é necessária uma água de melhor qualidade (LOVELESS; FAROOQ; GHAF FOUR, 2013).

Dessa forma, o presente projeto tem como objetivo avaliar o potencial de aproveitamento de água de condensação em edifícios comerciais de grande porte, baseado na quantificação e qualificação dessa fonte de água. O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da empresa BR Malls, administradora do Shopping Vila Velha, onde foi realizado o estudo de caso.

METODOLOGIA UTILIZADA

INFORMAÇÕES PRELIMINARES

Foi escolhido para estudo de caso o shopping Vila Velha, localizado no bairro Divino Espírito Santo, no município de Vila Velha, ES. O shopping está situado em um centro urbano e ocupa uma área de 140 mil metros quadrados, sendo 71 mil metros quadrados de área bruta locável (BR Malls, acesso em 16 jun. 2016).

A edificação possui um sistema de torre de resfriamento e aparelhos do tipo *fancoil*, que estão localizados nas 18 casas de máquinas distribuídas ao longo do shopping. O sistema de refrigeração é constituído de dois circuitos (Figura 1), no primeiro a água circula entre a torre de resfriamento e o condensador (*chiller*) e no segundo pelo compressor (*chiller*) e o *fancoil*. É importante salientar que no circuito Torre de resfriamento - Condensador ocorre uma perda significativa de água devido à evaporação e a purga, por esse motivo há o abastecimento de água diariamente de aproximadamente 95,6m³, segundo dados fornecidos pela administradora do shopping Vila Velha.

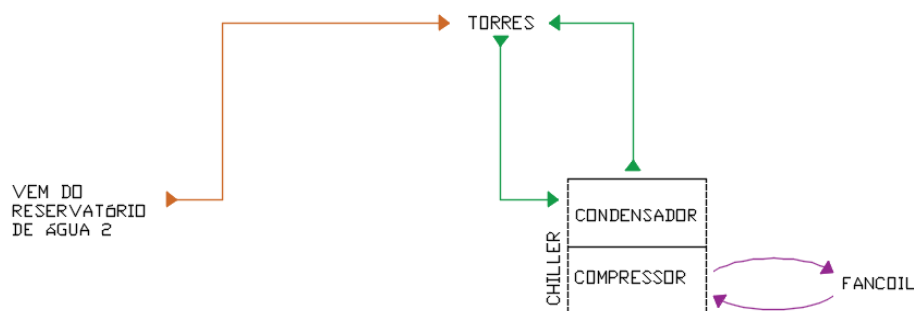


Figura 1: Circuitos do sistema de refrigeração.

MEDIÇÕES

Após o reconhecimento das instalações hidrossanitárias da edificação, foi elaborado um plano de setorização do consumo de água, que possibilitou a divisão por setores de cada atividade consumidora de água, tais como, banheiros sociais e bebedouros, refeitório, restaurantes, torre de resfriamento, área de eventos, cinema, supermercado, caixa de compensação, salão de beleza, lavanderia, academia, tanques e lojas.

Foram realizadas leituras dos hidrômetros diariamente, no horário das 14 horas no período de setembro de 2016 a janeiro de 2017. Ademais foram estimadas as vazões de águas residuárias produzidas, tais como, o volume de água pluvial, água cinza e água de condensação (objeto central deste estudo), e, diante disso, foi possível estabelecer a configuração do balanço hídrico da edificação.

OFERTA DE ÁGUA PLUVIAL

A determinação do volume de água pluvial disponível foi embasada na metodologia descrita na NBR 15527:2007 (ABNT, 2007) (Equação 1), que considera os valores de precipitação referente ao local do empreendimento, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a área total da cobertura da edificação, dado disponível na administração central do shopping.

$$V_{oferta} = \left(\frac{CxAxP}{1000} \right) - \left(\frac{2xA}{1000} \right) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: V = Volume da oferta de água da chuva (m³); C = coeficiente de escoamento; A = área de contribuição da cobertura (m²); P = precipitação (mm).

PRODUÇÃO DE ÁGUA CINZA

Para quantificar a produção de águas cinza, foram considerados pontos de produção nas pias de três tipos de banheiros (banheiros sociais, dos banheiros do cinema e de funcionários), além de tanques utilizados para a limpeza e de uma unidade de lavanderia instalada dentro do shopping, sendo que no total, o shopping possui 10 banheiros sociais, 02 banheiros na área do cinema, 02 banheiros de funcionários, 02 tanques e 01 lavanderia industrial.

Foram instalados 02 hidrômetros em um dos banheiros, onde um deles registrava o consumo de água das pias e o outro o consumo das bacias sanitárias. Estes hidrômetros foram medidos diariamente a fim de verificar a representatividade do consumo de água pelas pias em relação ao consumo total do banheiro. Essa representatividade foi mantida para todos os banheiros com relação a seus consumos de água totais. No caso dos banheiros de funcionários, entretanto, a produção foi estimada considerando o número médio de usuários e o consumo de água cinza per capita calculado com base nos dados dos banheiros sociais, visto que, para o caso dos funcionários não haviam hidrômetros instalados. A produção de água cinza em tanques e lavanderia foi feita considerando o mesmo volume de consumo de água potável.

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ÁGUA CONDENSADA

O cômputo da água de condensação foi realizado através do método de cubagens efetuadas na saída dos drenos dos *fancoils*. Para isso, foram escolhidos 4 drenos de fácil acesso para a execução da cubagem, sendo que cada dreno atende a determinadas casas de máquinas, conforme Figura 2.

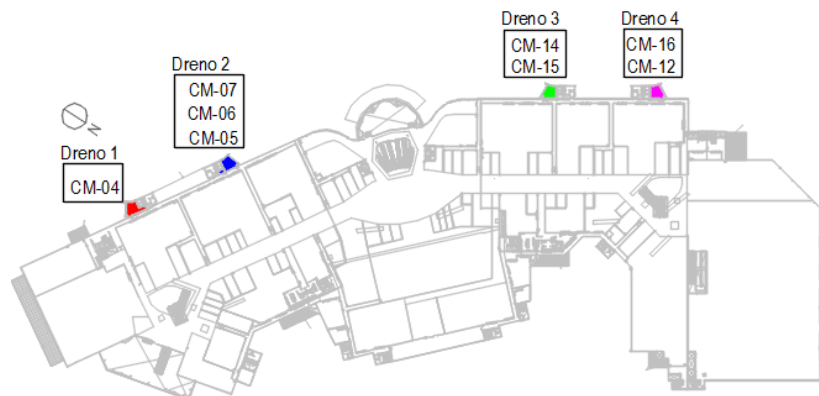


Figura 2: Localização dos drenos e respectivas casas de máquinas atendidas.

A cubagem foi realizada durante quatro dias (um dia para cada dreno), abrangendo os horários de 10 horas até às 22 horas, sendo estes os horários em que o ar condicionado é ligado e desligado, respectivamente.

O recipiente escolhido para a cubagem foi um galão de aproximadamente 212 litros (Figura 3), com área da seção transversal de 0,23 m². Com o auxílio de uma trena, foram medidas as alturas da lamina d'água dentro do galão a cada hora e estes valores foram multiplicados pela área do recipiente.



Figura 3: Galão utilizado para cubagem.

Para estimar a quantidade total de água condensada produzida no shopping center, foi levantado o número de *fancoils* distribuídos nas diversas casas de máquinas e o TR (tonelada de refrigeração) correspondente a cada *fancoils*, considerando que a produção de água condensada pode variar de acordo com o TR. Após a realização da cubagem e identificação do TR correspondente aos *fancoils* atendidos por cada dreno, foi possível relacionar os TR's com a produção diária de condensado de cada um.

Neste trabalho foi assumido que o volume de condensado produzido por um *fancoil* de determinado TR será similar a outro de mesmo TR. Importante ressaltar, entretanto, que não há na literatura dados suficientes que comprovem a relação entre produção de condensado e TR, e, portanto, cabe uma discussão detalhada sobre o assunto.

Vale ressaltar ainda que não foram considerados no presente estudo os *fancoils* referentes às unidades de lojas.

Sendo assim, conhecido o valor de todos os TR's e a produção equivalente para cada TR, pôde-se calcular a produção de condensado para todo o sistema.

BALANÇO HIDRICO

Visando reduzir os erros amostrais com a coleta de dados de vazão, com os registros teóricos ou com as estimativas com base na literatura, foi aplicado o método do balanço hídrico reconciliado (BHR), desenvolvido pela Rede Teclim, que propõe a atribuição de graus de confiabilidade para os dados de vazão (Tabela 1), ou seja, para cada técnica utilizada na obtenção do dado foi atribuído um valor que irá representar o seu nível de incerteza (FREIRE, 2011).

Tabela 1: Qualidade da Informação (QI)

QI - Qualidade da Informação	Fontes de Informação
0,4 - IPC (Pouco Confiável)	Estimativa grosseira sem muita consistência.
2,0 - ICB (Nível de Confiança Baixo)	Literatura existente, projetos antigos e simulações.
4,0 - ICM (Nível de Confiança Médio)	Experiência de campo e estimativa confiável a partir de medições existentes e informações de operadores do sistema.
10,0 - ICA (Nível de Confiança Alto)	Hidrômetros instalados. Apesar de não estarem calibrados foi a melhor fonte disponível. Os dados foram tratados estatisticamente para retirada dos espúrios.

Fonte: FREIRE, 2011.

A reconciliação de dados propõe novos valores de vazões que possam satisfazer as equações de balanço de massa através de técnicas de otimização matemática que reduzem a diferença entre os valores de vazão originais e reconciliados (OLIVEIRA, 2011).

Os dados de vazões foram reconciliados conforme a adaptação feita por Martins et. al. (2010) (Equação 2), baseado em Crowe (1986), resolvida com o auxílio da ferramenta solver do MSExcel®.

$$\min \sum_{i=1}^N \frac{(V_{Ri} - V_{Mi})^2}{V_{Mi}^2} \cdot QI_i^2 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: i = correntes; VRi = vazões reconciliadas; VMi = vazões medidas; N = número total de correntes envolvidas; QIi = qualidade da informação.

A validação dos resultados do BHR foi verificada através da análise das relações entre as vazões reconciliadas e não reconciliadas, conforme as Equação 3 e Equação 4.

$$\text{Diferença} = V_{Ri} - V_{Mi} \quad \text{Equação (3)}$$

$$\text{Desvio das vazões (\%)} = \frac{100 (V_{Ri} - V_{Mi})}{V_{Ri}} \quad \text{Equação (4)}$$

Valores de desvios de vazões menores que 1% foram considerados válidos. Para construir o fluxograma de vazões foi utilizado o software STAN versão 2.5

RESULTADOS OBTIDOS

CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL

Através das medições realizadas, foi possível setorizar o consumo de água potável em toda a edificação, conforme apresentado na Figura 4, em que percebe-se que os principais consumidores de água no shopping em estudo são a torre de resfriamento (31,01%), os restaurantes (29,8%) e banheiros (15,5%).

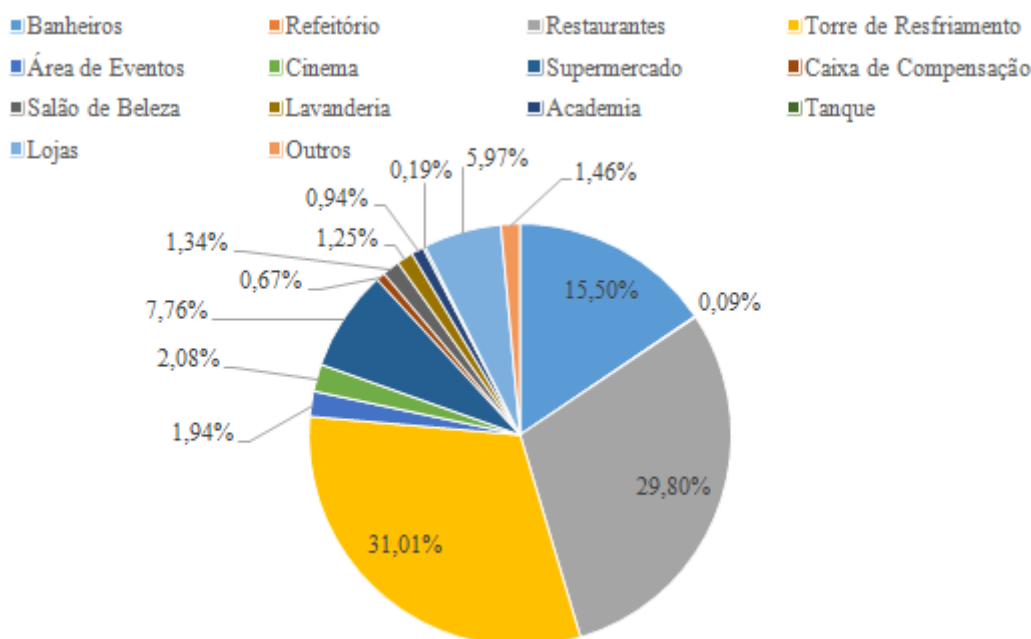


Figura 4: Distribuição de Consumo Diário de Água em Shopping Center por Categoria.

PRODUÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIAS

ÁGUA CINZA

Através da leitura do hidrômetro instalado, foi possível perceber que o consumo de água potável pelas pias é equivalente a 4% do consumo total do banheiro e o resultado obtido foi replicado para os demais banheiros sociais e do cinema, resultando em uma produção total de 713,88 m³/ano de água cinza. No banheiro de funcionários, cuja metodologia adotada para calcular a produção de água cinza considerou o número de usuários (visto que não havia hidrometrização no local) obteve-se um total de 8,66 m³/ano. Os tanques e lavanderia, juntos, resultaram em uma produção de água cinza de 1.597,71 m³/ano. Logo, a produção total de água cinza considerada neste trabalho igual a 2.320,25 m³/ano.

ÁGUA DA CHUVA

Conforme a Equação 1 e as variáveis dispostas na Tabela 2, considerando a média das precipitações dos anos de 2003 a 2016 do local de estudo, a oferta de água da chuva disponível no ano é de 64.950,88 m³.

Tabela 2: Oferta de água de chuva na edificação.

Precipitação Média Anual	Área de Captação	Coefficiente de Escoamento	Volume da Oferta de Água de Chuva Anual
1361,66 mm	50.288,15 m ²	0,95	64.950,88 m ³

ÁGUA DE CONDENSAÇÃO

A Tabela 3 apresenta o volume de condensado produzido por cada dreno obtido através do método de cubagem.

Tabela 3: Resultado da cubagem.

Período	Dreno 1	Dreno 2	Dreno 3	Dreno 4	Soma
	Litros	Litros	Litros	Litros	Litros
10:00 às 14:00 horas	278,12	630,11	235,92	290,56	1434,71
14:00 às 18:00 horas	200,72	671,94	235,16	259,66	1367,48
18:00 às 22:00 horas	195,52	870,08	282,27	266,06	1613,93
Total diário	674,36	2172,13	753,35	816,28	4416,12
Total mensal	20230,67	65163,98	22600,38	24488,45	132483,47

Considerando somente a produção dos *fancoils* monitorados, em um mês, o shopping produz um total de 132 m³ de água de condensação. Através desse valor, foi possível identificar que 01 TR é capaz de produzir um total de 5,83 litros de água condensada por dia.

Assim, relacionou-se a tonelada de refrigeração e a quantidade de *fancoils* que possuem o mesmo TR, alcançando-se um total de 3.501,6 m³/ano de água condensada no shopping (Tabela 4).

Tabela 4: Relação fancoil e TR's.

TR	Quantidade	Subtotal TR	Total TR's no shopping	Produção 1 TR (L/dia)	Total Condensado (L/dia)	Total Condensado (m ³ /ano)
26	1	26	1669,7	5,83	9726,45	3501,6
27	1	27				
34	6	204				
36	4	144				
40	3	120				
43	2	86				
50	7	350				
51	1	51				
63	2	126				
76	1	76				
88	1	87,7				
90	2	180				
92	1	92				
100	1	100				

BALANÇO HÍDRICO

A partir das vazões de água de entrada e saída coletadas e estimadas e o uso do software STAN versão 2.5, foi elaborado o fluxograma ilustrado na Figura 5, com a finalidade de representar as correntes líquidas de entrada e de saída da edificação.

As correntes E's e S's são correntes líquidas de entradas e saídas, respectivamente. As correntes representadas em azul se referem às águas potáveis, enquanto as correntes em verde são relacionadas à água evaporada da torre de resfriamento. As correntes em preto representam a produção de água cinza, em vermelho está demonstrada a produção de esgoto e as correntes em amarelo são referentes à água de drenagem.

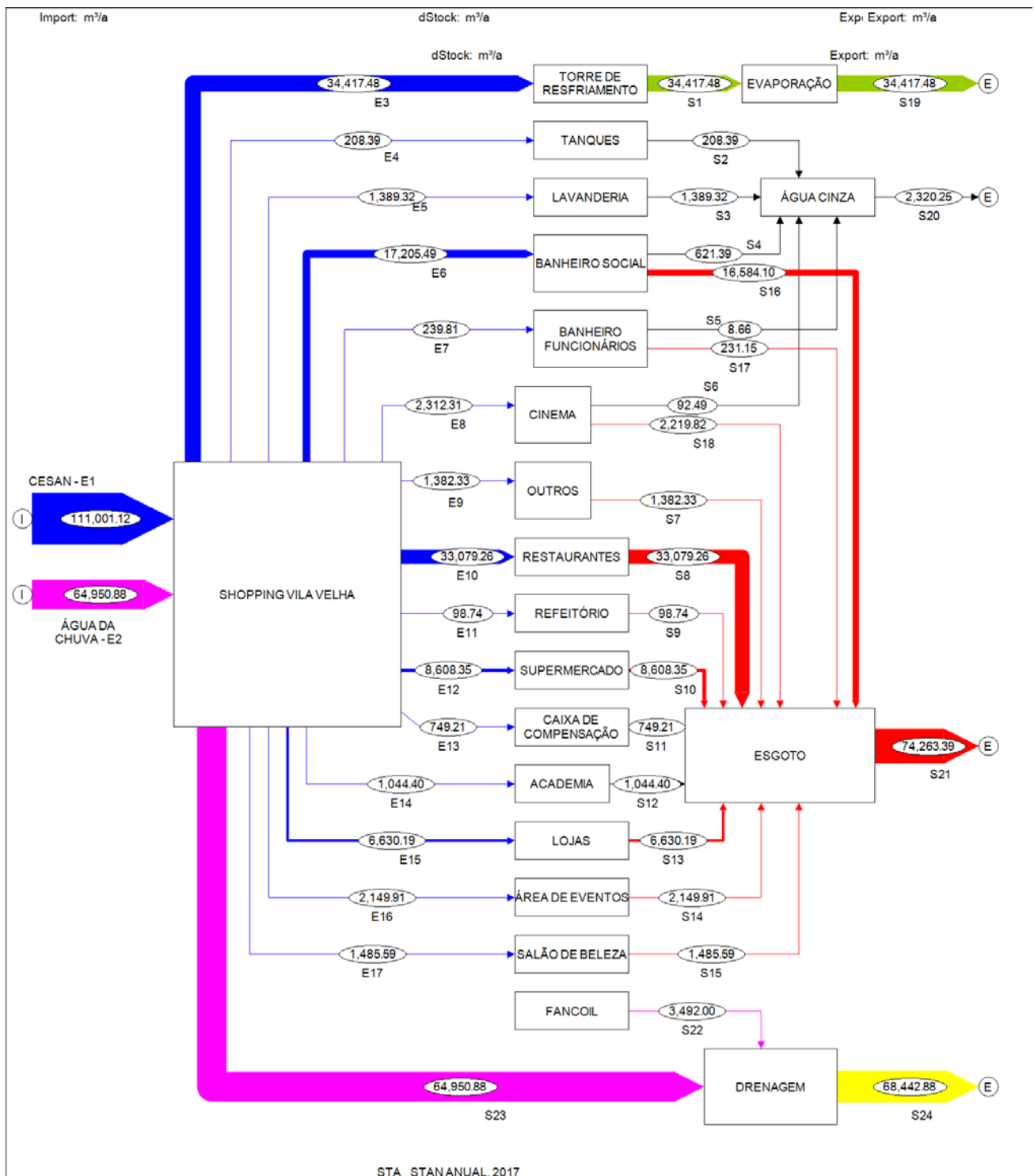


Figura 5: Fluxograma vazões de entrada e saída anual

Todas as correntes e os processos a elas relacionados estão apresentados na Tabela 5, que apresenta cada corrente com sua respectiva vazão medida (V_m), o coeficiente de qualidade da informação (QI), a vazão reconciliada calculada com o auxílio do solver (V_r) e o desvio das vazões obtidos.

Tabela 5: Relação fancoil e TR's.

Correntes	Processo	Vm (m³/ano)	QI	Vr (m³/ano)	Vr-Vm	Desvio (%)
E1	CESAN	111.001,12	10	111026,0225	24,90247	0,02243%
E2	Água da chuva	64.950,88	4	65027,7259	76,84594	0,11817%
E3	Torre de resfriamento	34.417,48	10	34415,0849	-2,39507	-0,00696%
E4	Tanques	208,39	10	208,3899	-0,00012	-0,00006%
E5	Lavanderia	1.389,32	10	1389,3163	-0,00372	-0,00027%
E6	Banheiro social	17.205,49	10	17205,0225	-0,46755	-0,00272%
E7	Banheiro funcionários	239,81	0,4	239,7535	-0,05652	-0,02357%
E8	Cinema	2.312,31	10	2312,3004	-0,00962	-0,00042%
E9	Outros	1.382,67	0,4	1380,9425	-1,72748	-0,12509%
E10	Restaurantes	33.079,26	10	33077,6657	-1,59433	-0,00482%
E11	Refeitório	98,74	10	98,7399	-0,00007	-0,00007%
E12	Supermercado	8.608,35	10	8608,2294	-0,12064	-0,00140%
E13	Caixa de compensação	749,21	10	749,2086	-0,00136	-0,00018%
E14	Academia	1.044,40	10	1044,3977	-0,00232	-0,00022%
E15	Lojas	6.630,19	10	6630,1183	-0,07169	-0,00108%
E16	Área de eventos	2.149,91	10	2149,9017	-0,00827	-0,00038%
E17	Salão de beleza	1.485,59	10	1485,5857	-0,00430	-0,00029%
S1	Evaporação	34.417,48	2	34415,0849	-2,39507	-0,00696%
S2	Tanques	208,39	0,4	208,3818	-0,00821	-0,00394%
S3	Lavanderia	1.389,32	0,4	1388,8568	-0,46317	-0,03335%
S4	Banheiro social	621,39	0,4	621,3038	-0,08620	-0,01387%
S5	Banheiro funcionários	8,66	0,4	8,6600	-0,00001	-0,00016%
S6	Cinema	92,49	0,4	92,4883	-0,00167	-0,00180%
S7	Outros	1.382,67	0,4	1382,5456	-0,12439	-0,00900%
S8	Restaurantes	33.079,26	0,4	33057,8551	-21,40491	-0,06475%
S9	Refeitório	98,74	0,4	98,7392	-0,00078	-0,00079%
S10	Supermercado	8.608,35	0,4	8605,0523	-3,29772	-0,03832%
S11	Caixa de compensação	749,21	0,4	749,1703	-0,03974	-0,00530%
S12	Academia	1.044,40	0,4	1044,3265	-0,07350	-0,00704%
S13	Lojas	6.630,19	0,4	6628,0833	-2,10672	-0,03178%
S14	Área de eventos	2.149,91	0,4	2149,6165	-0,29347	-0,01365%
S15	Salão de beleza	1.485,59	0,4	1485,4507	-0,13933	-0,00938%
S16	Banheiro social	16.584,10	0,4	16608,3747	24,27473	0,14616%
S17	Banheiro funcionários	231,15	0,4	231,1469	-0,00307	-0,00133%
S18	Cinema	2.219,82	0,4	2219,5202	-0,29984	-0,01351%
S19	Evaporação	34.417,48	0,4	34415,0849	-2,39507	-0,00696%
S20	Água cinza	2.320,25	0,4	2319,6907	-0,55926	-0,02411%
S21	Esgoto	74.263,39	0,4	74259,8813	-3,50873	-0,00472%
S22	Fancoil	3.492,00	0,4	3500,1316	8,13158	0,23232%
S23	Água da chuva	64.950,88	0,4	65059,09146	108,21146	0,16633%
S24	Drenagem	68.442,88	0,4	68559,22304	116,34304	0,16970%

DEMANDA DE ÁGUA NÃO POTÁVEL - DANP

Através do BHR, foi possível identificar quais as correntes podem ser atendidas por água não potável, como o abastecimento das descargas das bacias sanitárias, a reposição da água na torre de resfriamento e usos de água para lavagem em geral.

Dessa forma, a vazão correspondente à demanda de água não potável, com base no BHR, é de 149,12 m³/dia (Tabela 6).

Tabela 6: Demanda de Água Não Potável

Atividade	Corrente	m ³ /ano	m ³ /mês	m ³ /dia
Bacias Sanitárias Banheiros Sociais	S16	16.608,37	1.384,03	46,13
Banheiro de Funcionários	S17	231,15	19,26	0,64
Bacia Sanitária Cinema	S18	2.219,52	184,96	6,17
Torre de Resfriamento	E3	34.415,08	2.867,92	95,60
Lavagem em Geral (Tanques)	E4	208,39	17,37	0,58
Total da Demanda de Água Não Potável		53.682,52	4.473,54	149,12

REPRESENTATIVIDADE DA ÁGUA CONDENSADA

A partir do volume estimado da produção de água condensada, verificou-se a representatividade desta água perante toda a água potável consumida na edificação, bem como perante a demanda de água não potável e na torre de resfriamento (Figura 6).

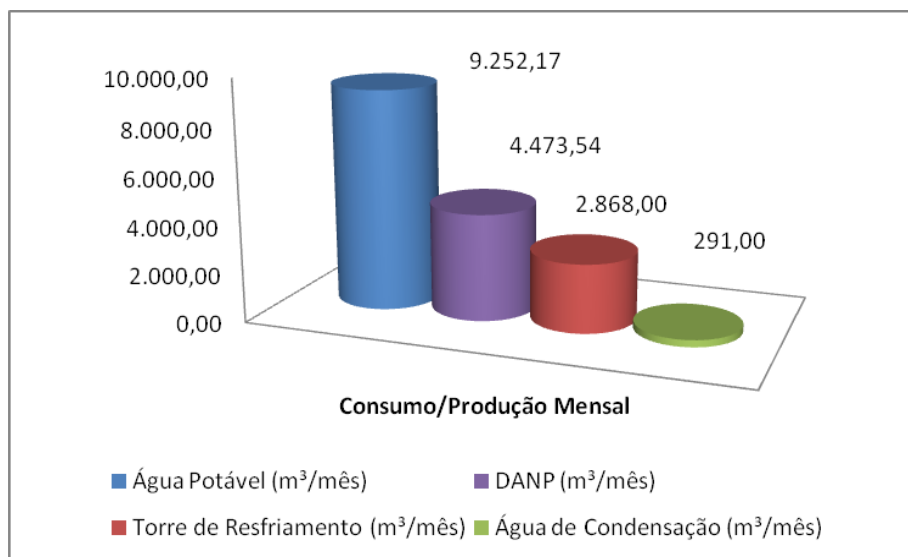


Figura 6: Consumo/Produção de águas no shopping Vila Velha.

Observa-se, portanto, que a produção de condensado representa 10% do volume de água consumido pela torre de resfriamento. Isso representaria, em um ano, uma economia de 3.492,00 m³ de água potável, o que corresponde a aproximadamente 36 dias de abastecimento da torre de resfriamento.

USOS POSSÍVEIS E EXIGÊNCIAS DE QUALIDADE DA ÁGUA CONDENSAÇÃO

Muitos autores citam que na edificação comercial a água condensada pode ser eficientemente aproveitada em alimentação de torres de resfriamento (SAMAN, BRUNO E LIU, 2009; GUZ, 2005; LICINA e SEKHAR, 2012; GLAWE, 2013). Com um simples tratamento de polimento, a água condensada poderá ter vários usos em aplicações específicas como indústrias eletrônicas, caldeiras para produção de aço, indústria farmacêutica e

médica e aplicações em laboratórios. Esta água também pode ser usada em abastecimentos públicos, direcionando o condensado para a rede de água ou misturando-o com água subterrânea, se disponível, e tratando-o de acordo com os padrões de água locais (LOVELESS, FAROOQ E GHAF FOUR, 2013; Frechette, Leung; Boyer, 2007).

Não existe atualmente legislação brasileira que regule o uso de água condensada em edificações, porém, para o uso da água de reuso, a ABNT NBR 13969: 1997 estabelece alguns parâmetros a serem atendidos, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Grau de tratamento necessário

Classe / Parâmetro	Turbidez	Coliforme fecal	Sólidos dissolvidos totais	pH	Cloro residual
Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	< 5,00	< 200,00 NMP/100 mL	<200 mg/L	Entre 6,00 – 8,00	Entre 0,5 mg/L – 1,5 mg/L
Classe 2: Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	< 5,00	< 500,00 NMP/100 mL	-	-	> 0,5 mg/L
Classe 3: Reuso nas descargas dos vasos sanitários.	< 10,00	< 500,00 NMP/100 mL	-	-	-
Classe 3: Reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	-	< 5.000,00 NMP/100 mL	-	-	-

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 13969: 1997.

A caracterização da água condensada é um fator que interfere diretamente nos usos pretendidos desta água, e, por isso, tem ganhado uma visibilidade maior no meio acadêmico. O condensado é gerado da mesma maneira que a água destilada, que tem um pH ligeiramente ácido em torno de 5,8, em comparação com um pH neutro de 7,0, e não contém minerais (BUZZLE 2013).

Estudos sobre o potencial de aproveitamento de água condensada em diversos locais de clima quente e úmido afirmam que devido à remoção de minerais durante o processo de evaporação, a qualidade do condensado é semelhante à água destilada (LICINA E SEKHAR, 2012; DRINKWINE, SOVOCOL, MORGAN, 2012). Em geral, espera-se que a água obtida do vapor atmosférico seja de boa qualidade, com baixos teores de minerais e metais (HABEEBULLAH, 2009).

Alguns autores afirmam ainda que o aproveitamento da água condensada em torres de resfriamento não demanda nenhum tratamento de desinfecção se a água do condensado vai diretamente para alimentação de torres de resfriamento, pois os procedimentos de adição de biocida que geralmente acontecem nestes locais impedirão a contaminação (GUZ, 2005; LICINA E SEKHAR, 2012).

CONCLUSÕES

Este estudo mostrou as possibilidades de usos de fontes alternativas de água em um shopping da região metropolitana do Espírito Santo, com foco, sobretudo, na produção e aproveitamento de água condensada de sistemas de resfriamento da edificação.

Através de uma análise preliminar de setorização de água no shopping foi possível observar que os maiores consumidores de água são torre de resfriamento, restaurantes e banheiros, responsáveis pelo consumo de 31%,

29,8% e 15% do total da água potável que alimenta o sistema, respectivamente. Vale ressaltar que a edificação não possui reuso e aproveitamento de água, toda a demanda de água é atendida por água potável fornecida pela concessionária local.

Como base de comparação no balanço hídrico, a pesquisa avaliou as fontes de águas residuais mais relevantes neste caso: a água cinza, a água de chuva e a água de condensação. Foi percebido que a maior fonte de água cinza na edificação vem do conjunto tanques e lavanderia industrial. Juntos, eles são capazes de produzir 1.597,71 m³/ano de água cinza de um total de 2.320,2 m³/ano considerando também as pias dos banheiros. O estudo da oferta de águas pluviais demonstrou que esta seria uma fonte de água capaz de suprir 64.950,8 m³/ano de água, devido, sobretudo, à grande área de captação da cobertura da edificação.

A produção de água de condensação, por sua vez, foi calculada considerando a Tonelada de Refrigeração (TR) total do shopping. O estudo concluiu que 01 TR é capaz de produzir 5,83 litros de água por dia com 12 horas de funcionamento. Dessa forma, como a edificação possui um total de 1.669,7 TR de ar por dia, a produção de água condensada é de 3.501,6 m³/ano.

Observando o balanço hídrico total da edificação, é possível perceber que, apesar da água pluvial ser uma importante fonte hídrica no local em termos quantitativos, a água condensada possui um potencial de aproveitamento relevante posto que trata-se de uma água com boa qualidade, segundo diversos autores e de produção contínua. Avaliando o seu uso para abastecer a torre de resfriamento, a produção de condensado representa 10% do volume de água consumido por essa unidade. Isso representaria, em um ano, uma economia de 3.492,00 m³ de água potável, ou seja, 36 dias de abastecimento da torre de resfriamento.

De maneira geral, o estudo conclui que quase metade do consumo de água demandado pelo shopping em estudo pode ser substituída por fontes de águas residuárias. No caso da água condensada, o seu aproveitamento traz benefícios não apenas econômicos, mas também ambiental visto que esse efluente muitas vezes é descartado de forma irregular, contribuindo com a formação de poças e a proliferação de mosquitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRASCE – Associação Brasileira de Shopping Center. Disponível em: <<http://abrasce.com.br/monitoramento/evolucao-do-setor>>. Acesso em 20 mai. 2017.
2. AGERH - Agência Estadual de Recursos Hídricos. Disponível em < <https://agerh.es.gov.br/crise-hidrica-agerh-prorroga-restricoes-na-ca>>. Acesso em 20 mai. 2017
3. AGUIAR, K, C. Comparação dos potenciais de conservação de água com a prática do reuso de águas cinza e com a coleta segregada de urina humana em uma edificação residencial multifamiliar. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.
4. ALEXANDRE, E. C. F.; CASTRO, M. L. de; PESQUERO, M. A. Caracterização e tratamento de águas cinza com fins não potáveis. Revista de Biotecnologia e Ciência. Anápolis, v. 2, n. 2, p. 106-116, 2013.
5. AL-FARAYEDHI, A. A.; IBRAHIM, N. I.; GANDHIDASAN, P. Condensate as a water source from vapor compression systems in hot and humid regions. Desalination, v. 349, p. 60-67, 2014.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
8. BR MALLS. Shopping Vila Velha. Disponível em <<http://www.shoppingvilavelha.com.br/ShoppingDetalhe>>. Acesso em 16 jun. 2016.
9. BRYANT, J. A.; AHMED, T. Condensate water collection for an institutional building in Doha, Qatar: an opportunity for water sustainability. 2008.
10. BUZZLE. “Distilled Water pH Level”. Disponível em: <www.buzzle.com/articles/distilled-water-ph-level.html> Acesso em 14 jan. 2017.
11. COOK, S.; SHARMA, A. K.; GURUNG, T. R.; Evaluation of alternative water sources for commercial buildings: A case study in Brisbane, Australia. Resources, Conservation and Recycling, p.86-93, 2014.

12. DRINKWINE M.; SOVOCOL K.; MORGAN M. Like water from air! SNWA Air Conditioner Condensate Study. Water Smart Innovation, 2012. Apresentação online. Disponível em: <<http://docplayer.net/8816591-This-presentation-premiered-at-watersmart-innovations-watersmartinnovations-com.html>>. Acesso em 18 mai. de 2017.
13. FILHO, G. R. O. A crise da água na região metropolitana de São Paulo em 2014 e a ineficiente gestão dos recursos hídricos. CES Revista, Juiz de Fora, v. 29, n. 1, p. 5-20, jan/jul. 2015.
14. FRECHETTE, R.; LEUNG, L.; BOYER, J. Mechanical and Electrical Systems for the Tallest Building/Man-Made Structure in the World: A Burj Dubai Case Study. Energy Systems Laboratory. Texas A&M University. 2006.
15. FREIRE, M. T. M. O consumo racional de água no aeroporto internacional de Salvador, Bahia/Brasil. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
16. GLAWE, D. D. San Antonio Condensate Collection and Use Manual for Commercial Buildings. San Antonio Water System, 2013.
17. GOIS, E. H. B. de.; RIOS, C. A. S.; COSTANZI, R. N. Evaluation of water conservation and reuse: a case study of a shopping mall in southern Brazil. Journal of Cleaner Production, p. 263-271, 2015.
18. GUZ, K. Condensate Water Recovery. ASHRAE Journal, Vol. 47, N° 6, p. 54-56, 2005.
19. HABEEBULLAH, B. A. Potential use of evaporator coils for water extraction in hot and humid areas. Desalination, v. 237, n. 1-3, p. 330-345, 2009.
20. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Dados Históricos. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em 21 jun. 2016.
21. LICINA, D.; SEKHAR, C. Energy and water conservation from air handling unit condensate in hot and humid climates. Energy and Buildings, p. 257-263, 2012.
22. LOVELESS, K. J.; FAROOQ, A.; GHAFFOUR, N. Collection of condensate water: global potential and water quality impacts. Water resources management, v. 27, n. 5, p. 1351-1361, 2013.
23. MANCUSO, P. C. S.; MANFREDINI, B. Reúso de água em sistemas de resfriamento. Estudo de caso: subestação conversora de energia furnas centrais elétricas. In: CONGRESSO REGIONAL, IV REGIÓN, 5,2005, Asunción. Anais... Asunción, Paraguay: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2005. p.1-21.
24. NASSAR, B.; MOURA, C. Aproveitamento de condensado das serpentinas. ATMOS Engenharia de Climatização, 2015. Disponível em < <http://www.atmosclimatizacao.com.br/artigos-tecnicos>>. Acesso em 02 jun. 2016.
25. NUNES, R. T. S. Conservação da água em edifícios comerciais: potencial de uso racional e reúso em shopping Center. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
26. OLIVEIRA, G. L. A metodologia TECLIM para uso racional da água na indústria: Uma proposta de sistematização, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
27. SAMAN, W.; BRUNO, F.; LIU, M. Technical background research on evaporative air conditioners and feasibility of rating their water consumption. Adelaide, Australia: University of South Australia, 2009.