

27º. Encontro Técnico AESABESP

CASA SUSTENTÁVEL: proposta de implantação de sistemas sustentáveis em unidades residenciais de padrão popular.

Daniel Rocha Pereira

Mestre em Energia e Ambiente; Faculdade Pitágoras de São Luís/MA; E-mail: daniel.rocha.drp@gmail.com

Dayza Emília Rodrigues da Silva;

Graduada em Engenharia Civil; Faculdade Pitágoras de São Luís/MA; E-mail: emilia_dayza@hotmail.com

Iara Michele Pereira De Sousa

Graduada em Engenharia Civil; Faculdade Pitágoras de São Luís/MA; E-mail: iaramichely@hotmail.com

Glauber Tulio Fonseca Coelho

Mestre em Saneamento Ambiental; Faculdade Pitágoras São Luís/MA; E-mail: glauber.coelho@kroton.com.br

RESUMO

A degradação ambiental advinda da construção massiva de novas habitações exigiu um novo olhar da engenharia civil com relação à sustentabilidade. Neste cenário, a casa sustentável surge com a finalidade de demonstrar métodos adequados do ponto de vista ecológico na construção civil, promovendo uma reeducação ambiental e cultural dos seus usuários. Seguindo a premissa de que uma casa sustentável deve ser autossuficiente em termos energéticos, utilizar águas pluviais, ter destinação apropriada dos resíduos líquidos e sólidos, fazer uso de sistemas bioclimáticos eficientes, sugere-se a implantação de 4 sistemas de cunho sustentável em uma unidade residencial que são: Sistema de aproveitamento de água da chuva, sistema de eficiência energética com placas solares fotovoltaicas, sistema de cobertura vegetal e biodigestor. O objetivo do atual trabalho se baseou no dimensionamento desses quatro sistemas. O método utilizado para realização do objetivo foi a consulta de acervos bibliográficos e a execução de cálculos a partir dessa consulta. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a implantação dos sistemas aplicados na unidade residencial de padrão popular são em conjunto economicamente inviáveis por apresentarem um alto custo de aplicação em relação a uma residência de padrão popular.

Palavras-chaves: Sustentabilidade água de chuva. Energia solar. Telhado verde. Biodigestor.

INTRODUÇÃO

A história nos mostra que a construção civil sempre existiu, mesmo que sem técnica, ela esteve sempre presente para atender as necessidades mais imediatas do homem. Durante a evolução, com estudos específicos e crescimento da tecnologia tais técnicas construtivas foram aprimoradas e aperfeiçoadas até que surgiram as edificações embasadas na responsabilidade social, que busca procedimentos que diminuam os impactos causados ao meio ambiente e à sociedade em geral.

No Brasil, como preceitua Schenini, Bagnati e Cardoso (2004), a ausência de uma consciência que atenda a primazia de um ambiente ecologicamente correto, na indústria da construção civil, gerou danos ambientais em que não há possibilidade de serem reparados. O relevante crescimento da degradação ambiental supracitada, que ocorreu na segunda metade do século XX, se deu em razão do processo de migração que elevou o número de habitações.

Na atualidade, o modelo de construção civil executado em nosso país, e em toda a sua cadeia produtiva, tem gerado inúmeros danos ao meio ambiente, pois, além de utilizar, de forma ampla, recursos não renováveis e consumir de forma excessiva quantidades de energia e recursos naturais, tanto na extração bem como na condução e processamento dos insumos, é também um dos maiores vilões com relação ao desperdício de

materiais, além de ser considerado um grande gerador de resíduos dentro da sociedade (ROTH & GARCIAS, 2009).

Existe uma incessante procura de equilíbrio entre o que é socialmente desejável, economicamente viável e ecologicamente sustentável. Neste cenário, a casa sustentável surge com a finalidade de demonstrar métodos adequados do ponto de vista ecológico na construção civil, promovendo uma reeducação ambiental e cultural dos seus usuários (CORRÊA, 2009).

Seguindo a premissa de que uma casa sustentável deve ser autossuficiente em termos energéticos, utilizar águas pluviais, ter destinação apropriada dos resíduos líquidos e sólidos, fazer uso de sistemas bioclimáticos eficientes, proporcionando conforto térmico e otimização da qualidade do ar, justifica-se a aplicação dos sistemas estudados no trabalho que são: sistema de aproveitamento de água da chuva (SAAC), sistema de eficiência energética com painéis fotovoltaicos, sistema de cobertura vegetal e biodigestor em uma unidade residencial padrão popular do programa Minha Casa, Minha Vida.

O conceito de “casa sustentável” destaca a busca pela utilização de procedimentos que minimizem os impactos ambientais causados pela construção civil. Cada um destes sistemas tem grande importância na política de gerenciamento ambiental, pois trata de variáveis distintas que podem promover o desenvolvimento sustentável e induzir a difusão desse tipo de sistema construtivo benéfico.

O presente estudo tem como objetivo dimensionar estes quatro sistemas e aplicá-los em uma residência de padrão popular, no intuito de torná-la sustentável e demonstrar a aplicabilidade das técnicas implantadas. O trabalho foi dividido em duas partes. Para tanto foram utilizados artigos, monografias, Normas Brasileiras, revistas e livros na primeira fase a fim de se obter embasamento sobre os sistemas apresentados. Posteriormente foram feitos cálculos de dimensionamento de cada sistema através de fórmulas, pesquisa de mercado e descrições normativas apresentando os resultados.

Os resultados obtidos demonstraram que a implantação dos sistemas aplicados na unidade residencial de padrão popular são em conjunto economicamente inviável por apresentarem um alto custo de aplicação em relação a uma residência de padrão popular. As dimensões da casa são um fator limitante, influenciando assim, no mau desempenho de alguns destes sistemas. No entanto, observa-se que a utilização de somente um, até dois, desses sistemas é considerado viável para padrão popular, não descartando a questão de se utilizar um método sustentável, porém, não entra no âmbito de casa sustentável por não apresentar todas as soluções buscadas neste trabalho.

OBJETIVO

Apresentar aplicabilidade de 04 sistemas sustentáveis em uma unidade residencial de padrão popular.

MATERIAS E MÉTODOS

A metodologia adotada para elaboração do trabalho se dividiu em duas fases: revisão bibliográfica e dimensionamento dos sistemas estudados na revisão. Na primeira etapa foram escolhidos artigos, monografia, Normas Brasileira de Regulamentação, revistas e livros para serem estudados acerca do assunto escolhido.

Na etapa posterior da revisão foram apresentados o contexto histórico, seguido por benefícios, tipologia e partes componentes das tecnologias aplicadas na residência.

Com relação ao dimensionamento foi seguido uma sequência de cálculos apresentados a seguir.

SAAC

Para calcular a vazão de projeto, de acordo com a NBR 10844/1989, foi utilizada a equação: $Q = \frac{I.A}{60}$

Para Dimensionamento de calhas, com base na NBR 10844/89, utiliza-se a equação de Manning-Strickler:

$$Q = K \cdot \frac{S}{n} \cdot RH^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

Para o correto dimensionamento dos condutores verticais deve ser feito de acordo com os seguintes dados: Q (vazão de projeto, em l/min), H (altura da lamina de agua na calha, em mm) e L (comprimento do condutor vertical, em m) e com base nos ábacos fornecidos pela NBR 10844/1989. A NBR 10844/1989 adota um diâmetro interno mínimo de 70 mm de seção circular caso o diâmetro calculado ser menor que 70 mm.

A partir do dimensionamento da calha é feito o cálculo de dimensionamento do dispositivo de primeira lavagem. Volume de água a ser descartado (considerando que serão descartados dois mm por metro quadrado do telhado pela área de captação): $V = 2 \cdot A$

$$\text{Área do reservatório: } A = \pi r^2$$

$$\text{Altura do reservatório: } h = V/A$$

Para dimensionamento do reservatório foram utilizados dados de series históricas dos últimos 20 anos retirados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, demanda de consumo de água para descarga, área de captação de água da chuva considerando o coeficiente de escoamento e eficiência requerida pelo método de simulação. O método de Análise de Simulação será utilizado para nos mostrar como o reservatório reage de acordo com a sua capacidade em relação a área de coleta da água da chuva.

Para definir a altura em que o reservatório de armazenamento deve estar instalado, para que não necessite de bomba para levar agua até a caixa de descarga, deve-se utilizar de acordo com a NBR 5626/1992 a vazão de projeto de uma caixa de descarga da bacia sanitária e o diâmetro interno dos tubos para tanto, com base nesses dados utiliza-se a seguinte formula para calcular a perda de carga e determinar a altura entre o fundo do reservatório e a entrada na caixa de descarga.

$$\text{Calculo da perda de carga: } J = 8,69 \times 10^6 \cdot Q^{1,75} \cdot d^{-4,75}$$

Sistema energético com painéis solares fotovoltaicos

Para cálculo do dimensionamento dos painéis foram coletados dados acerca das coordenadas da cidade de São Luís –MA pelo *Google Maps* jogados no site do CRESESB a fim de se obter a média de insolação. Foi criada uma tabela com consumo médio mensal fixo. Para determinar a potência necessária das placas para atender a esta demanda transforma-se a média desse consumo fixo mensal em diário e divide este valor pela média de insolação anual.

Telhado Verde

Como não existe norma de regulamentação para dimensionamento de telhado verde, a metodologia utilizada foi pesquisa de mercado para escolha de uma empresa que oferecesse o telhado que melhor atendesse as condições impostas do projeto.

Tanque Séptico Biodigestor

Para dimensionamento do biodigestor, de acordo com a NBR 7229 e NBR 13969, foram utilizadas as seguintes equações. É importante salientar, que as normas supracitadas fornecem valores tabelados, para facilitar os cálculos abaixo, e algumas diretrizes para o correto dimensionamento. É importante ressaltar, também, que foram adotados alguns parâmetros da NBR 8160/1999.

a) Tanque séptico

- Calculo do Volume Útil da Fossa: $V = 1000 + N(CT + KL_f)$
- Calcula-se a área do tanque pela equação: $S_0 = \frac{V}{h}$
- Calcula-se o diâmetro do tanque pela equação: $S_0 = \pi r^2 \rightarrow d = 2r$

b) Filtro anaeróbio

- Volume Útil do leito Filtrante: $V_u = 1,6NCT$
- Área do Filtro: $S_0 = \frac{V_u}{h} \rightarrow S_0 = 0,66 m^2$
- Diâmetro do Filtro: $S_0 = \pi r^2 \rightarrow d = 2r$

RESULTADOS

Delimitações para Aplicação de Tecnologias Sustentáveis numa Residência Padrão Popular:

- 1) Foi escolhida a Tipologia 01 da unidade residencial, com 38 m² de área útil, do programa Minha Casa minha Vida;
- 2) Essa tipologia usa fundação direta para estrutura mural em sapatas corridas de concreto e cintas de amarração;
- 3) O valor da casa dependerá da região implantada;
- 4) Devem ser obedecidas todas as demandas existentes na cartilha da Caixa Econômica Federal;
- 5) O telhado da casa possui 50 m², sendo que 25 m² serão utilizados para implantação de telhado verde. Nos outros 25 m² aplicados as placas solares e o SAAC, portanto na mesma caída que será captado água de chuva, também estará o painel fotovoltaico;
- 6) A casa deve ter um afastamento mínimo frontal ou lateral de 4 m para adequação do biodigestor;
- 7) As dimensões do terreno são regidas pelo zoneamento do local de construção da casa.



Figura 1 - Perspectiva da casa sem os sistemas sustentáveis

Fonte: Daniel Paixão (2015)

Dimensionamento SAAC

- **Vazão de projeto:**

De acordo com a NBR 10844/1989 para a construção de até 100 m² de área de projeção horizontal, salvo casos específicos, pode-se adotar intensidade $I = 150$ mm/h, determinando a vazão de projeto com a seguinte fórmula:

$$Q = \frac{I \cdot A}{60}$$

Onde:

Q → vazão do projeto (l/min)

I → intensidade de chuva (mm/h)

A → área de contribuição (m²)

- **Dimensionamento de calhas:**

Com base na NBR 10844/89 a utilização da equação de Manning-Strickler dará as dimensões das calhas pela fórmula:

$$Q = K \cdot \frac{S}{n} \cdot RH^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

Q → vazão da calha

K → coeficiente de Manning-Strickler

S → área da seção molhada
 n → coeficiente de rugosidade
 RH → raio hidráulico
 I → declividade da calha

Contudo a norma também fornece uma tabela (tabela 1) pronta com a vazão necessária para implantação de calhas semicirculares, usando coeficiente de rugosidade $n = 0,011$ (para calhas em plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos), com lamina d'água igual a metade do diâmetro interno.

Diâmetro interno (mm)	Declividade 0,5%	Declividade 1%	Declividade 2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1167	1634

Tabela 1 – capacidade de calhas semicirculares

Fonte: NBR 10844/1989.

- **Condutores verticais:**

Sempre que possível devem ser projetados em uma única prumada, os desvios, quando necessários, devem ser feitos com curva 90° raio longo ou curvas de 45° e devem ser previstas peças de inspeção. O diâmetro interno mínimo de um condutor vertical de seção circular é de 70mm. O dimensionamento dos condutores verticais deve ser feito de acordo com os seguintes dados: Q (vazão de projeto, em l/min), H (altura da lamina de água na calha, em mm) e L (comprimento do condutor vertical, em m) e com base nos ábacos fornecidos pela NBR 10844/1989.

- **Execução do dimensionamento**

A área de contribuição será de 25 m². Adotaremos intensidade pluviométrica de 150mm/h.

Vazão do projeto:

$$Q = \frac{I \cdot A}{60} \rightarrow Q = (150 \times 25) / 60 \rightarrow Q \sim 63 \text{ l/min}$$

Parâmetros utilizados:

- Conforme a NBR 10844/1989
- Declividade mínima da calha: 0,5% = 0,005
- $K = 60000$
- $n = 0,011$

Considerando uma calha circular de 125 mm de diâmetro, temos:

- Perímetro da área molhada:

$$P = \frac{2\pi r}{2} \rightarrow P = \frac{2\pi \cdot 0,0625}{2} \rightarrow P = 0,1965$$

- Área da seção molhada:

$$S = \frac{\pi r^2}{2} \rightarrow S = \frac{\pi \cdot 0,0625^2}{2} \rightarrow S = 6,13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

- Raio hidráulico:

$$RH = \frac{S}{P} \rightarrow RH = \frac{6,13 \cdot 10^{-3}}{0,1965} \rightarrow RH = 0,03122 \text{ m}$$

- Dimensionamento da calha:

$$Q = K \cdot \frac{S}{n} \cdot RH^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \rightarrow Q = 60000 \cdot \frac{6,13 \cdot 10^{-3}}{0,011} \cdot 0,03122^{\frac{2}{3}} \cdot 0,005^{\frac{1}{2}} \rightarrow Q = 234,411 \text{ l/min}$$

A partir do dimensionamento da calha é feito o cálculo de dimensionamento do dispositivo de primeira lavagem, o qual recebe as primeiras águas que antes de chegarem a este passam por um filtro autolimpante que separa os detritos maiores que escorrem junto com a água, como mostra a figura 2. A principal função dos filtros é melhorar

a qualidade da água que será armazenada. O filtro escolhido para implantação no SAAC é o 3P Rainus da marca 3P Technik, de fácil instalação e adequado ao nosso sistema. É adequado para até 70m² de telhado.

O funcionamento deste filtro consiste basicamente no forçamento da passagem da água por cascata separando-a dos dejetos conforme figura 2, as dimensões e descrições do filtro seguem na figura 3.

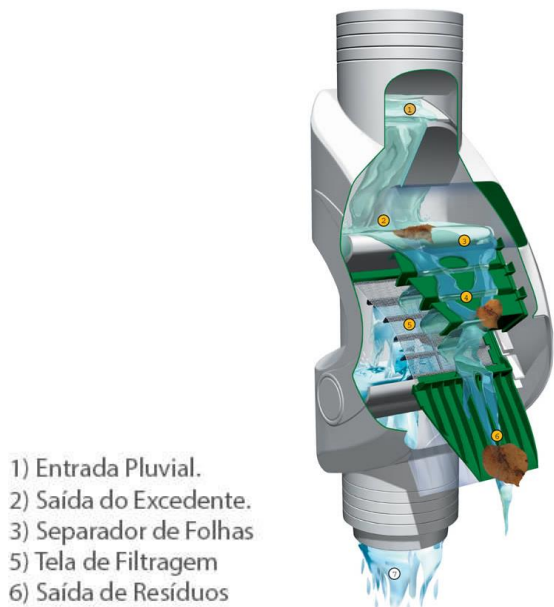


Figura 2 - Descrição interna do filtro

Fonte: 3P Technik – disponível em: <http://migre.me/sinbj>. Acesso em nov. 2015.

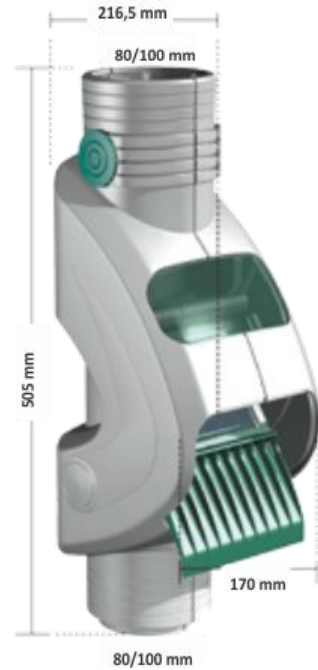


Figura 3 – Dimensões do filtro

Após passar pelo filtro as primeiras águas serão conduzidas ao dispositivo de primeira lavagem. Será utilizado um tubo de 200 mm de diâmetro para confecção do dispositivo que guardará as águas de lavagem do telhado. O dimensionamento será feito de acordo com a quantidade de água determinada pelos seguintes cálculos:

Volume de água a ser descartado (considerando que serão descartados dois mm por metro quadrado do telhado pela área de captação), bem como mostra a figura 4 do separador da água da chuva: $V = 2 \cdot A \rightarrow V = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 25 \rightarrow V = 50 \text{ l} \rightarrow V = 0,05 \text{ m}^3$

Área do reservatório: $A = \pi r^2 \rightarrow A = \pi \cdot 0,1 \rightarrow A = 0,314 \text{ m}^2$

Altura do reservatório: $h = V/A \rightarrow h = \frac{0,05}{0,314} \rightarrow h \cong 1,60 \text{ m}$

SEPARADOR DE ÁGUAS DE CHUVA

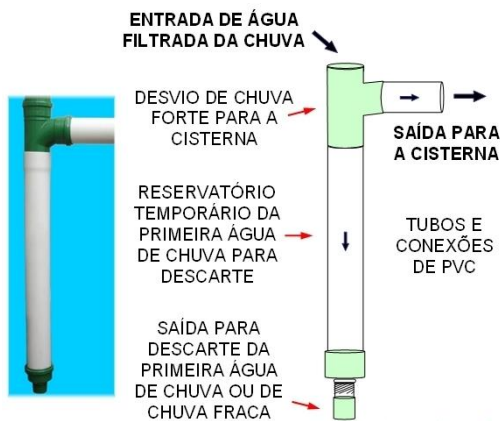


Figura 4 – Separador de água da chuva

Fonte: disponível em: <http://migre.me/sineo>. Acesso nov. 2015.

O reservatório deve ter uma bóia de nível para que quando este estiver cheio a bóia possa fechar o orifício de entrada da água, impossibilitando a entrada e encaminhando-a ao reservatório de armazenamento de água da chuva. Assim que a chuva acabar deve-se descarregar o dispositivo através de uma descarga ou torneira implantada em seu fundo. Para o projeto será utilizada uma caixa d'água de polietileno de 500 l da marca *Fortlev* implantada do lado de fora da casa em um castelo d'água com altura a ser definida pelo cálculo da perda de carga.

Para determinação do volume através do Método de Análise de Simulação, julga-se um volume para verificar o que acontece com a água no reservatório: se vai sobrar ou se vai faltar (TOMAZ, 2003).

A verificação do volume é feita através de análise gráfica. No projeto utiliza-se o volume do reservatório igual a 0,5 m³, durante o período dos últimos 20 anos (1995 a 2015). Para análise foram adotados 2 mm de descarte da primeira chuva, 25 m² para área de coleta e demanda de 4,8 m³ (somente descarga sanitária), como demonstra a tabela 2.

Meses	Chuva média mensal (mm)	Demanda mensal (m ³)	Área de captação (m ²)	Volume de chuva mensal (m ³)	Volume do reservatório fixado (m ³)	Volume do reservatório no tempo (t-1) (m ³)	Volume do reservatório no tempo (t) (m ³)	Overflow (m ³)	Suprimento de água externo (m ³)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10
Janeiro	205,76	4,8	25	4	0,5	0	0,5	0	0,8
Fevereiro	308,19	4,8	25	6	0,5	0,5	0,5	1,2	0
Março	432,52	4,8	25	9	0,5	0,5	0,5	4,2	0
Abril	457,33	4,8	25	9	0,5	0,5	0,5	4,2	0
Mai	315,62	4,8	25	6	0,5	0,5	0,5	1,2	0
Junho	183,33	4,8	25	4	0,5	0,5	-0,3	0	0,3
Julho	115,33	4,8	25	2	0,5	0	-2,8	0	2,8
Agosto	23,52	4,8	25	0	0,5	0	-4,8	0	4,8
Setembro	2,24	4,8	25	0	0,5	0	-4,8	0	4,8
Outubro	6,52	4,8	25	0	0,5	0	-4,8	0	4,8
Novembro	8,86	4,8	25	0	0,5	0	-4,8	0	4,8
Dezembro	39,90	4,8	25	1	0,5	0	-3,8	0	3,8
Total	2099,12	57,6		41				10,8	26,9
Coeficiente de runoff (CR) = 0,8					Volume do reservatório (m ³) = 0,5				

Tabela 2– Análise de simulação do reservatório

Fonte: Autores da pesquisa, 2015.

• Posicionamento do reservatório de água de chuva

Para definir a altura em que o reservatório de armazenamento deve estar instalado para que não necessite de bomba para levar água até a caixa de descarga, foram considerados os seguintes aspectos:

1. Os acessórios que devem ser instalados no sistema: dispositivo de descarte de primeiras águas e filtro para remoção de dejetos;
2. A altura do reservatório;
3. A altura no ponto de utilização, no caso a bacia sanitária com caixa acoplada;
4. As tubulações necessárias para a condução da água;
5. A perda de carga entre a saída do reservatório de armazenamento e entrada da caixa acoplada da bacia sanitária.

De acordo com especificações da CAIXA, no banheiro a bacia sanitária tem que ter caixa de descarga acoplada. A altura do reservatório, seguido por especificações do fabricante, é de 72 cm com tampa. A altura no ponto de utilização da bacia sanitária é de 20 cm. O pé direito da casa é de 2,80. Serão utilizados tubos de 15 mm. De acordo com a NBR 5626/1992 a vazão de projeto em l/s de uma caixa de descarga da bacia sanitária é de 0,15, para tanto, com base nesses dados calcula-se a perda de carga, com fórmula presente na norma, que determinará a altura entre o fundo do reservatório e a entrada na caixa de descarga.

Calculo da perda de carga: $J = 8,69 \times 10^6 \cdot Q^{1,75} \cdot d^{-4,75}$

Onde:

J → perda de carga

Q → a vazão estimada na seção

d → diâmetro interno do tubo

Portanto, temos: $J = 8,69 \times 10^6 \cdot 0,15^{1,75} \cdot 15^{-4,75} \rightarrow J = 0,81 \text{ m}$

A perda de carga calculada para o tubo de 15 mm de diâmetro foi de 0,81 m, portanto a distância entre o fundo do reservatório e a entrada de água na caixa de descarga da bacia sanitária deve ser de 81 cm. Considerando que a altura da entrada de água é de 20 cm do piso acabado, o fundo do reservatório deve estar a uma altura de, aproximadamente 1,1 m do piso. A figura 5 demonstra o modelo do SAAC implantado.



Figura 5: SAAC implantado.

Fonte: autores da pesquisa, 2015

Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

Para o dimensionamento das placas solares são necessários alguns parâmetros para execução dos cálculos que levarão em consideração os painéis disponibilizados na minha *casasolar* (loja online) que consiste em 8 placas de 260Wp, modelo CS6P – 260P da marca *Canadian Solar*.

Com o auxílio do programa *Google Maps* obtivemos uma latitude 2°29'36'' sul e longitude 44°13'16'' oeste, coordenadas aproximadas da cidade de São Luís – MA. Jogando esses valores no sistema Sundata (site do CRESESB), encontra-se dados sobre a radiação solar mensal em três locais como mostra a figura 6.

Latitude: 2,551° S
 Longitude: 44,204055° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Sao Luiz	São Luís	MA	BRA	2,5° S	44,302597° O	12,3	4,33	4,28	4,06	3,89	4,44	4,75	5,31	5,89	5,78	6,03	5,03	5,17	4,91	2,14
✓	Chapadinha	Chapadinha	MA	BRA	3,7° S	43,360277° O	158,6	4,42	4,81	4,67	4,56	5,25	5,03	5,53	6,22	6,06	6,14	5,92	5,31	5,33	1,80
✓	Turiacu	Turiacu	MA	BRA	1,7° S	45,371666° O	160,8	4,06	4,56	3,94	4,03	4,39	4,61	4,97	5,61	5,58	5,69	5,72	5,00	4,85	1,78

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

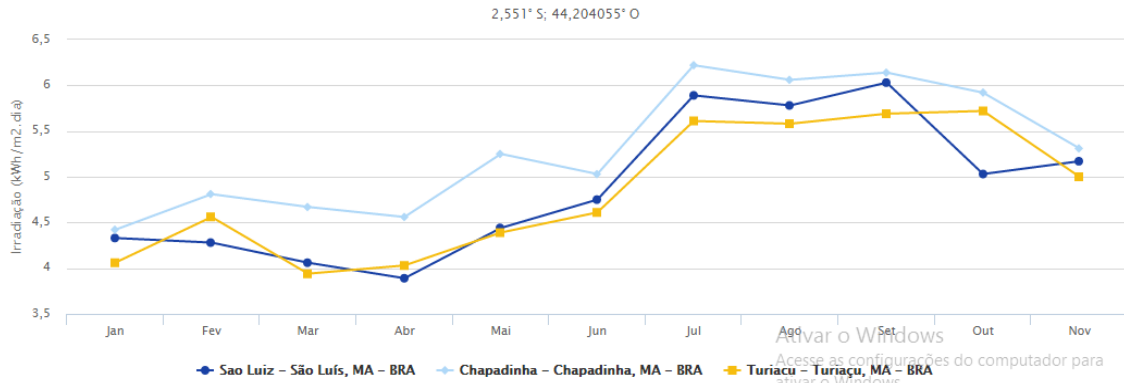


Figura 6 – Irradiação solar no plano horizontal
 Fonte: CRESESB (2015).

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos será considerado a maior média anual de São Luís para caracterização do sistema On grid, como mostra a figura 7.

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Sao Luiz
 Município: São Luís , MA - BRA
 Latitude: 2,5° S
 Longitude: 44,302597° O
 Distância do ponto de ref. (2,551° S; 44,204055° O): 12,3 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	4,33	4,28	4,06	3,89	4,44	4,75	5,31	5,89	5,78	6,03	5,03	5,17	4,91	2,14
✓	Ângulo igual a latitude	3° N	4,26	4,24	4,05	3,92	4,52	4,86	5,43	5,98	5,80	5,98	4,95	5,06	4,92	2,06
✓	Maior média anual	4° N	4,23	4,22	4,05	3,93	4,54	4,90	5,47	6,00	5,80	5,96	4,92	5,02	4,92	2,08
✓	Maior mínimo mensal	13° N	3,97	4,05	3,98	3,96	4,71	5,17	5,76	6,18	5,76	5,71	4,61	4,64	4,87	2,21

Irradiação Solar no Plano Inclinado –São Luiz–São Luís, MA-BRA

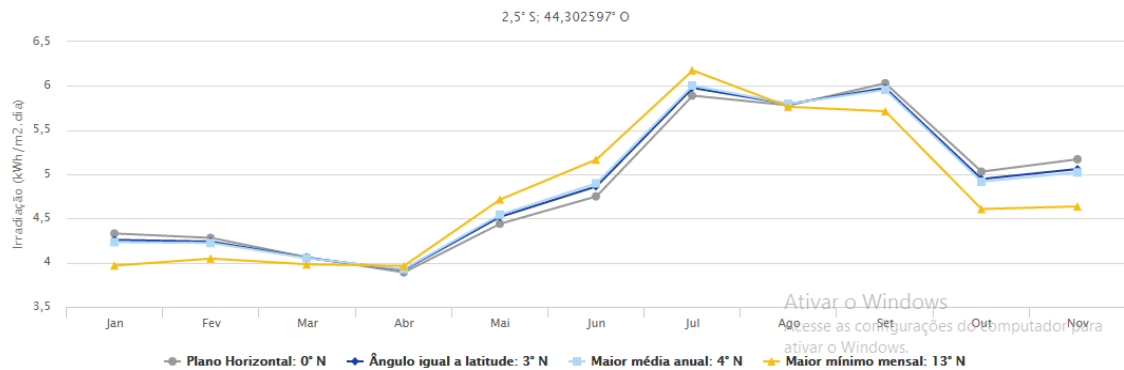


Figura 7 – Média anual de irradiação solar
 Fonte: CRESESB (2015).

Também é necessário o conhecimento do consumo médio de energia, neste caso utilizaremos a tabela 3 a seguir como parâmetro de consumo.

Tabela de Consumo Fixo de Eletrodomésticos na Casa Sustentável MCMV		
Quantidade	Descrição	Consumo Mensal (KWh)
6	Lâmpada Fluorescente 40 watts	5
1	Tanquinho até 5 kg	0,09
1	Geladeira com 1 porta	25
1	Micro-ondas de 25 l (20 min/dia)	13,98

Tabela de Consumo Fixo de Eletrodomésticos na Casa Sustentável MCMV		
Quantidade	Descrição	Consumo Mensal (KWh)
1	Ferro elétrico	15
1	TV 32"	25
2	Ventilador de 40 cm, ligado oito horas por dia	15,6
	TOTAL	140,27

Tabela 3 - Consumo fixo de eletrodomésticos.
Fonte: ANEEL, 2015.

Considerando o projeto aplicado em São Luís, temos:

- Área de implantação do painel: 25 m²
- Índice Solarimétrico = 4,92 KWh/m²/dia
- Consumo médio = 140,27 KWh/mês
- Considerar 30 dias por mês

Obtemos um consumo médio diário de: $\frac{140270}{30} = 4675,67 \text{ Wh}$

Potencia das placas: $\frac{4675,67}{4,92} = 950 \text{ W}$

Portanto as 8 placas de 260 W suprem de forma satisfatória a demanda de energia consumida pelos eletrodomésticos fixos, exemplificada na figura 8.



Figura 8: Placas fotovoltaicas implantadas
Fonte: autores da pesquisa, 2015.

Dimensionamento Telhado Verde

Não existe uma sequência para ser obedecida, tanto no dimensionamento quanto na execução do sistema de cobertura vegetal.

Para escolha do tipo de telhado, foi levado em conta o clima brasileiro e a tipologia de menor custo e manutenção. Outro fator a ser estudado é a sobrecarga do telhado na unidade residencial. Considerando todas essas condições, o melhor sistema a ser implantado é o teto verde extensivo com módulos pré elaborados, que melhor atende as necessidades da casa sustentável, utilizando a técnica de aplicação alveolar.

Segundo o IGRA, um telhado extensivo leve pesa em torno de 60 a 150 kg/m². De toda a cobertura da unidade residencial do projeto em questão, serão usados 25 m² para implantar o sistema de cobertura supracitado.

Com relação a vegetação, foi escolhida a grama esmeralda, por ser facilmente encontrada no mercado, oferecer preço acessível, e por atender as exigências básicas, tais como sobreviver a radiação solar, exposição ao vento, por não precisar de irrigação, já que essa grama sobrevive por muito tempo apenas com água da chuva, e área de raiz limitada.

Adotando o peso saturado do sistema de cobertura viva de 60 kg/m², adicionando assim, ao telhado da casa padrão MCMV uma sobrecarga de 1500 kg.

A empresa “Ecotelhado” oferece um telhado verde extensivo leve com um custo de R\$ 140,00 por m², tendo um custo total R\$ 3.500. O telhado em questão possui cinco camadas: estrutura de madeira utilizando uma base de OSB, camada de regularização, camada de proteção mecânica, membrana alveolar e o módulo vegetados com grama esmeralda. Esse módulo tem espessura de 9 cm, explicado na figura 9.

O sistema de cobertura verde não impactou na fundação da casa.

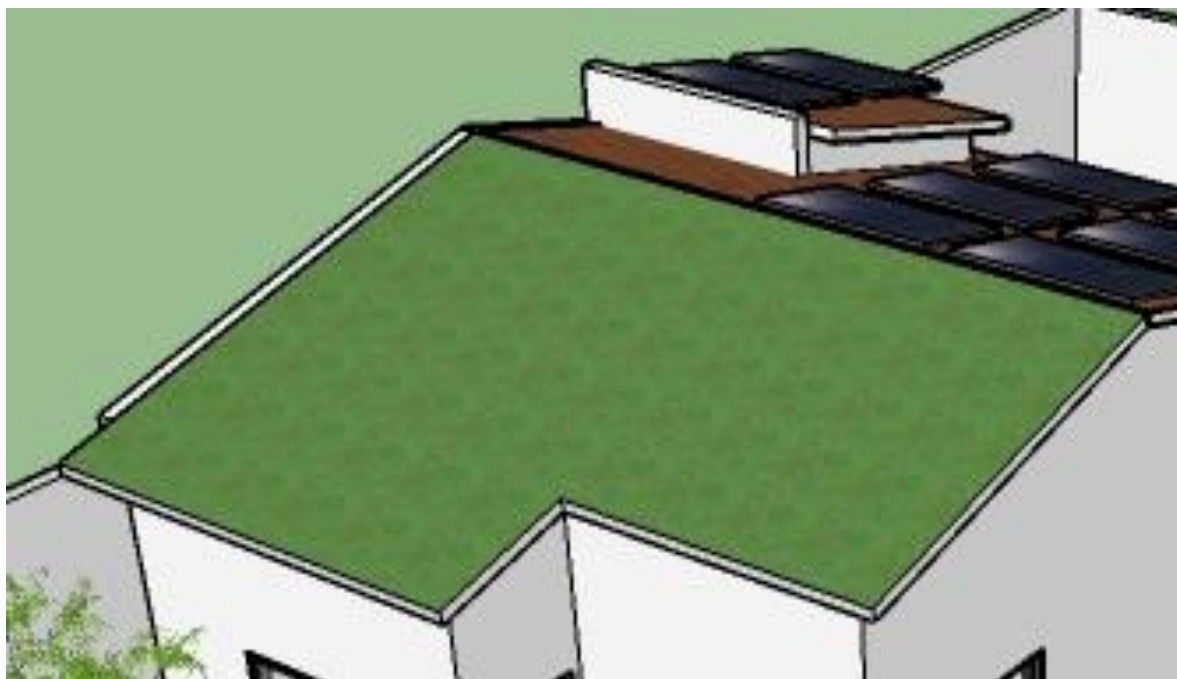


Figura 9 - Telhado verde aplicado.
Fonte: autores da pesquisa, 2015.

Dimensionamento do Tanque Séptico Biodigestor

Para melhor funcionamento do tanque séptico serão adicionados ao mesmo, um biofiltro e um clorador, além, é claro de ser necessário uma caixa de gordura. Para o dimensionamento do sistema de saneamento citado acima foram obedecidas as diretrizes da NBR 7229/93, 13969/97 e 8190.

O biodigestor deve obedecer aos seguintes afastamentos:

- 1,50 m de construções, limites de terreno, sumidouros, valas de infiltração e ramal predial de água;
- 3,0 m de árvores e de qualquer ponto de rede pública de abastecimento de água;
- 15,0 m de poços freáticos e de corpos de água de qualquer natureza.

- **Tanque Séptico**

As variáveis utilizadas para o cálculo foram retiradas da tabelas 1, 2 e 3 da NBR 7229/93. Considera-se também que a unidade residencial em questão é de padrão médio e tem 4 moradores.

- Cálculo do Volume Útil da Fossa: $V = 1000 + N(CT + KL_f) \rightarrow V = 1908 \text{ l}$.

Onde:

V: Volume útil, em litros;

N: Número de moradores ou contribuintes;

C: Contribuição de despejos, em litros/pessoa x dia;

T: Período de detenção em dias (Tabela 2);

K: Taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco (Tabela 3);

L_f : Contribuição de lodo fresco, em litro/unidade x pessoa.

A partir do volume útil, pode ser definida a profundidade máxima e mínima do filtro anaeróbio através da tabela 4 da NBR 7229/93.

Volume útil (m ³)	Profundidade Mínima (m)	Profundidade Máxima (m)
Até 6	1,20	2,20

Tabela 4 - profundidade máxima e mínima do filtro anaeróbio.

Fonte: autores da pesquisa, 2015.

Com base na profundidade escolhida, que no caso é 1,5 m, e no volume encontrado acima, calculam-se assim as dimensões do tanque pelas equações abaixo.

- Área do tanque: $S_0 = \frac{V}{h} \rightarrow S_0 = 1,27m^2$
- Diâmetro do tanque: $S_0 = \pi r^2 \rightarrow r = 0,64m$, logo o diâmetro será 1,30m.

Todas as dimensões adotadas satisfazem a casa de padrão popular.

- **Filtro Anaeróbio**

Alguns pormenores que devem ser analisados tanto para o dimensionamento quanto para a construção do filtro, de acordo com a norma regulamentadora.

- 1) A altura do fundo falso deve ser limitada a 0,60m, já incluindo a espessura da laje;
- 2) O filtro deve estar situado 10 cm abaixo do tanque devido a perda de carga;
- 3) O fundo falso deve ter aberturas de 2,5 cm, a cada 15 cm.
- 4) Filtro anaeróbio calculado a partir das diretrizes da NBR 13969/97.
- 5) Volume Útil do leito Filtrante: $V_u = 1,6NCT \rightarrow V_u = 832l$ ou $0,832m^3$

Iremos adotar para fins de norma 1m³ de leito filtrante, já que a mesma diz que o volume útil mínimo deve ser 1000l.

A partir da altura total do filtro, que no caso é de 1,5 m, será calculado a área e o diâmetro do mesmo.

- Área do Filtro: $S_0 = \frac{V}{h} \rightarrow S_0 = 0,66 m^2$
- Diâmetro do Filtro: $S_0 = \pi r^2 \rightarrow r = 0,458m$, logo o diâmetro será 0,95 m.

Todas as dimensões adotadas satisfazem a casa padrão MCMV.

- **Clorador**

A norma não cita nenhum dimensionamento para o clorador, apenas diz que é necessário a presença do mesmo para melhor tratamento do efluente.

- **Destino Final do Efluente**

A norma cita inúmeros destinos finais para o efluente advindo do sistema de saneamento, exemplificando figura 10. No caso de fossa séptica adjunto de um filtro anaeróbio, a norma diz que a destinação correta de efluentes se dá por dois meios:

- 1) Vala de Infiltração: Será dimensionada a partir da taxa de percolação do solo implantado;
- 2) Sumidouro: Será dimensionado a partir da taxa de percolação do solo implantado.
- 3) Reuso Local: o efluente pode ser tratado e reutilizado para irrigação do jardim, mas antes de ir pra reuso deve passar pelo clorador.
- 4) Rede coletora: outra opção viável é o retorno do efluente para a rede coletora. Como acontece com o efluente disposto para reuso local, deve haver cloração do mesmo.

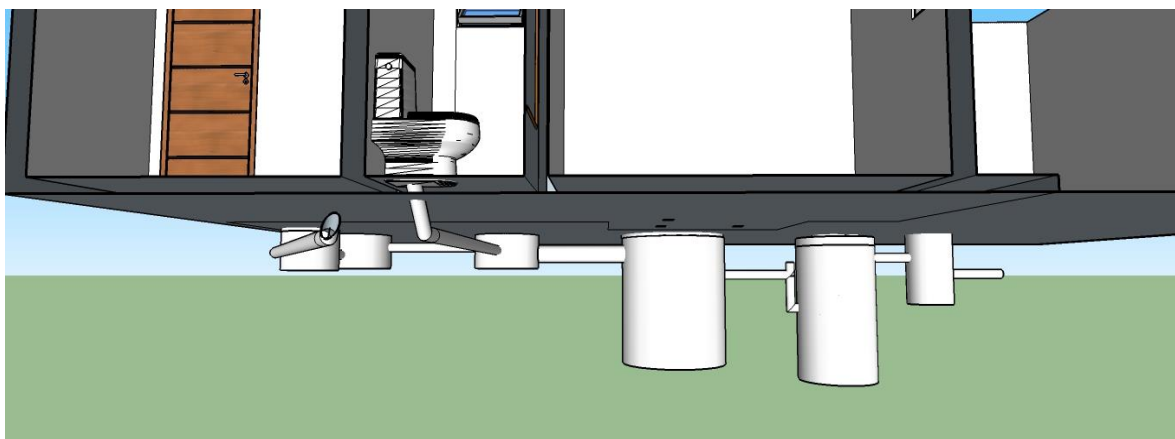


Figura 10 - ETE implantada
Fonte: autores da pesquisa, 2015.

- **Biodigestor Pré-fabricado**

Já existe no mercado câmaras de fermentação pré fabricadas e por um preço acessível.

O manual do biodigestor da Ecolimp instrui que o mesmo deve ser instalado com as distâncias mínimas requeridas na norma de dimensionamento de tanque séptico.

Para o correto funcionamento do sistema de saneamento deve ser implantado junto ao biodigestor Ecolimp, uma caixa de gordura, caixa grelhada e um sumidouro ou vala de infiltração.

Propõe-se a implantação de uma câmara de 600 litros, já que atende cerca de 5 pessoas de casas residenciais. Com relação a custo haverá um gasto por volta de R\$ 1500.

Estimativa de custo do projeto

A partir de pesquisa de mercado, orçamentos similares, sinapi e orse, chegaram-se aos seguintes preços para cada sistema implantado.

SAAC: R\$ 1.900,00

Placas Fotovoltaicas: R\$ 20.000,00

Telhado verde: R\$ 3.500,00

Biodigestor: R\$ 3.000,00

Discussões e ressalvas sobre a Implantação dos sistemas dimensionados

- **SAAC**

Com relação ao SAAC obtemos resultados poucos satisfatórios, pois a área de coleta é insuficiente para atender a demanda anual de descarga sanitária, o único propósito ao qual o SAAC foi implantado neste projeto. Quanto ao custo, nota-se que o sistema não requer investimento alto, se comparado aos outros sistemas. Uma alternativa para barateamento do protótipo é a substituição de algumas partes constituintes por peças artesanais.

- **Sistema de eficiência energética com placas solares fotovoltaicas**

Sobre o sistema de eficiência energética com placas solares fotovoltaicas, o alto custo é o que desfavorece a implantação do mesmo. A aplicação do sistema dimensionado supriria a demanda fixa de consumo de energia da casa de padrão popular, pelo menos durante o dia. Contudo, dentre todos os sistemas apresentados é o que menos necessita de grandes intervenções na casa, podendo ser instalado em qualquer lugar que receba irradiação solar.

- **Sistema de cobertura vegetal**

Em relação ao telhado verde, conclui-se que o sistema será bem aproveitado, proporcionando à edificação implantada conforto térmico, maior área verde e amenidade visual. Apesar dos benefícios, o custo para implantação desse sistema é alto para casas de padrão popular, tornando-o inviável para o projeto.

- **Biodigestor**

Inegavelmente há um aproveitamento de 100% da ETE implantada na unidade residencial, já que haverá tratamento dos dejetos e ainda quando houver limpeza do tanque séptico, o biofertilizante poderá ser utilizado no substrato do telhado verde. Quanto ao custo, se for utilizado um pré-fabricado, será viável. No entanto, se for utilizado o sistema de fossa séptica com biofiltro, o custo será mais elevado.

Considerando as críticas apresentadas acima, cabe ao usuário escolher o sistema que mais se adeque ao seu plano de economia e ao seu bolso.



Figura 11- Casa com todos os sistemas implantados
Fonte: autores da pesquisa, 2015.



Figura 12 -Casa com todos os sistemas implantados
Fonte: Autores da pesquisa, 2015.

CONCLUSÃO

Com relação às construções ambientais, o Brasil está consideravelmente atrasado, levando em conta a prática exercida por outros países, principalmente os desenvolvidos. Apesar dos muitos benefícios que o Brasil apresenta, tal como clima favorável para utilização de tecnologias sustentáveis, a cultura brasileira ainda é consumista e acomodada, acreditando que problemas associados à escassez e má distribuição de recursos naturais, poluição e degradação do meio ambiente podem ser resolvidos num passe de mágica.

Como já foi citado, busca-se solucionar alguns desses problemas ligados ao meio ambiente, com a casa sustentável. Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, conclui-se que a implantação dos sistemas aplicados na unidade residencial são, em conjunto, economicamente inviáveis por apresentarem um alto custo de aplicação em relação a uma residência de padrão popular. Porém, os sistemas apresentam rendimento satisfatórios para as funções requeridas, mesmo que em partes, como o caso do SAAC que tem uma capacidade de suprimento durante, apenas, seis meses por ano. Mesmo assim, a CASA SUSTENTÁVEL representa, de certa forma, uma melhoria na qualidade de vida de seus usuários, bem como nos padrões construtivos. O estudo em questão preconiza o uso de métodos sustentáveis atrelado a qualquer área das engenharias existentes.

Espera-se que os princípios econômicos e ecológicos unam-se para que de fato haja uma verdadeira viabilidade da casa sustentável, casa está considerada coerente de acordo com suas respectivas necessidades, bem como uma conscientização da população em termos de economia e preservação de recursos naturais e meio ambiente.

RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a análise da qualidade da água da chuva reaproveitada e também recomenda-se a análise da água tratada pela fossa séptica biodigestor.

REFERÊNCIAS

1. ABNT – NBR 5626/1998 “**Instalação predial de água fria**”.
2. ABNT – NBR 10844/1989 “**Instalações prediais de águas pluviais**”.
3. ABNT – NBR 15527/2007 “**Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**”.
4. ABNT - NBR 13969/1997“**Tanques sépticos-Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos-Projeto, construção e operação**”.
5. ABNT - NBR 7229/1993 “**Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**”.
6. ABNT - NBR 8160/1999“**Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução**”.
7. BEATRICE, Caio Cury. **Avaliação do potencial de uso de três espécies vegetais como cobertura leve de telhados em edificações**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
8. BEN, Balanço Energético Nacional, 2015. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf. Acesso em 15 de Setembro/2015.
9. BERTOLO, E. et al. Aproveitamento da água da chuva em edificações. **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**, 2006.
10. CARVALHO, GABRIELA DOS SANTOS. **Análise de uma Proposta de um Sistema de Captação e Aproveitamento de Água de Chuva para Uso em Bacias Sanitárias com Caixa Acoplada em Residências Unifamiliares**. 2007. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências.
11. CASTANHO, Diego Solak; ARRUDA Heder Jobbins. GROSSA-PARANÁ-BRASIL, Curso Técnico em Agroindústria–UTFPR–Campus Ponta Grossa, 2008.
12. CASTRO, Rui MG. Introdução à energia fotovoltaica. **DEEC/Secção de Energia, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa**, 2007.
13. CORRÊA, Lásaro Roberto. Sustentabilidade na construção civil. **Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais**, 2009.
14. GABARDO, Renan Artur; RADASKIEVICZ, Tiago. **Aspectos técnicos e econômicos do uso residenciais de painéis fotovoltaicos ligados à rede**. 2013.
15. GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de Biodigestor em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo-PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de produção e sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2003.

16. GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. Editora da Universidade de São Paulo, 2008.
17. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf> Acesso em 05/06/2015.
18. IGRA – *INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION (Associação Internacional de Telhado Verde)*. **Tipos de telhado verde**. Disponível em: <http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php> Site traduzido. Acesso em: 25 de Março de 2015.
19. JAQUES, Reginaldo Campolino. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina.
20. MAY, SIMONE. **“Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações”** - Diss. Universidade de São Paulo (2004).
21. MANUAL DO BIODIGESTOR. WINROCK. Instituto International Brazil. **Manual de Biodigestão**. Salvador. 2012.
22. MARY, Wellington et al. **TELHADOS VERDES: Ferramenta potencial para geração de renda em áreas de fragilidade social**.
23. MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA**. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>>. Acesso em nov. 2015.
24. OLIVEIRA, FREDERICO MOYLE BAETA DE. **“Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no campus da Universidade Federal de Ouro Preto Ouro Preto, Minas Gerais”** - Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.
25. OLIVEIRA, Eric Watson Netto de. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. Rio de Janeiro, 2009.
26. OSMUNDSON, Theodore. **Roofs gardens: history, design and construction**. New York, 1999. W.W. Norton e Company, Inc, 1999.
27. PECK, Steven W. et al. **Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada**. Peck and associates, 2002.
28. PEDERIVA, André Cristiano et al. **Gestão Ambiental: Análise de viabilidade e dimensionamento de um biodigestor para geração de energia elétrica e biofertilizante**. 2012.
29. PEREIRA, Enio Bueno; COLLE, Sérgio. A energia que vem do Sol. **Ciência Hoje**, v. 22, n. 130, p. 24-35, 1997.
30. PEREIRA, Lorena et al. A CONSTRUÇÃO E O PAPEL AMBIENTAL DE UM BIODIGESTOR ENVIRONMENTAL CONSTRUCTION AND THE ROLE OF A BIODIGESTER. 2012.
31. PORTARIA nº 23 de 12 de fevereiro de 2015
32. SAVI, Adriane Cordoni. **Telhados verdes: Análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. Curitiba, 2012.
33. SILVA, Neusiane da Costa. **Telhado verde: Sistema de maior eficiência e menor impacto ambiental**. Belo Horizonte, 2011.
34. TOMAZ, PLÍNIO. "Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis." *Oceania* 65.4 (2009): 5.
35. TOMAZ, PLÍNIO. **“Aproveitamento de água da chuva: aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas para fins não potáveis”** São Paulo: Navegar, 2003.