

Projeto de residência sustentável para a grande São Luís - MA

Design of a green house for grande São Luís

Sophia Luiza Rodovalho Mereb

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal do ABC

Mágila Feitosa Medeiros

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Nove de Julho

Amanda Carvalho Miranda

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Nove de Julho

José Carlos Curvelo Santana

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal do ABC

DOI: 10.47573/aya.88580.2.39.9

Resumo

Esse trabalho apresenta um projeto de uma residência economicamente e ambientalmente sustentável, através da combinação de diversas tecnologias de construção sustentável (verde) associadas na sua arquitetura. A proposta usa um kit de células fotovoltaicas foi usado no telhado para o consumo interno e venda da sobra de energia para concessionária de energia do Maranhão. A água da chuva é armazenada em tanques e um biodigestor foi usado para produzir biogás, ambos para o consumo interno da residência. Madeira certificada, lâmpadas de LED e materiais obtidos a partir dos resíduos da construção civil foram usados para minimização de impactos ambientais. Além disso também se calculou os créditos de carbono gerado pela residência sustentável. Após o desenvolvimento das planilhas de custo do projeto de investimento na residência sustentável, verificou-se que a venda da energia fotovoltaica é responsável por 77,75% da receita total da residência sustentável. O lucro anual variou entre R\$ 2,65 mil e R\$ 17,97 mil por ano, o que fornece uma VPL positiva de R\$ 82 mil, com uma TIR de 12% e um payback de 1,11 ano, demonstrando que o projeto é viável economicamente e ambientalmente.

Palavras-chave: residência sustentável. viabilidade econômica. viabilidade ambiental. créditos de carbono.

Abstract

This work presents a project of an economically and environmentally sustainable residence, through the combination of several sustainable construction technologies (green) associated in its architecture. The proposal uses a kit of photovoltaic cells that was used on the roof for internal consumption and sale of leftover energy to the energy company in Maranhão. Rainwater is stored in tanks and a biodigester was used to produce biogas, both for the internal consumption of the residence. Certified wood, LED lamps and materials obtained from civil construction waste were used to minimize environmental impacts. In addition, the carbon credits generated by sustainable residence were also calculated. After the development of cost spreadsheets for the sustainable home investment project, it was found that the sale of photovoltaic energy is responsible for 77.75% of the total revenue of sustainable housing. The annual profit ranged between R\$2.65 thousand and R\$17.97 thousand per year, which provides a positive NPV of R\$82 thousand, with an IRR of 12% and a payback of 1.11 year, demonstrating that the project is economically and environmentally viable.

Keywords: green house. economic feasibility. environmental feasibility. carbono credit.

A indústria da construção é considerada um dos impulsionadores da economia e da construção da nação. De acordo com o instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE) o setor da construção civil tem grande participação na economia nacional sendo responsável por 4,6% do produto interno bruto (PIB) (MEDEIROS, 2019). O impacto na economia a jusante pode ser imediato no início da construção e pode continuar durante as operações em si.

Juntamente com os prometidos benefícios econômicos e financeiros da indústria da construção, as próprias atividades geram resíduos consideráveis nos locais de trabalho, acampamentos e instalações auxiliares. A indústria da construção é bem conhecida como fonte de impactos ambientais, que estão associados tanto à produção como à extração de matérias-primas e a execução de seus projetos.

No Brasil, foram produzidos cerca de 45 milhões de toneladas de resíduos em 2015, o que equivale a 57% do total de resíduos sólidos produzidos no país. A eliminação de resíduos está associada a contaminação do solo e da água, devido ao descarte de materiais como amianto e compostos orgânicos voláteis (MEDEIROS, 2019). Portanto, é necessário o desenvolvimento de projetos de construção civil com menor impacto ambiental.

Então, para minimizar esses efeitos diversas pesquisas têm sido desenvolvidas de forma reduzir a geração de rejeitos das construções civil, recicla-los ou reutilizá-los em novas, bem como tornar as construções mais eficientes no consumo de energia, água e matéria-prima (SILVA *et al.*, 2017).

É amplamente conhecido que o resíduo da construção civil (RCC) é usada nos aterros de rodovias e obras construção civil, mas atualmente também está sendo usado na obtenção de bloco de cimento, piso de cimento para jardins, na mistura que compõe a argamassa e como agregado para a bases e concretos (PASCHOLIN FILHO *et al.*, 2018; RUIZ e PASCHOLIN FILHO, 2018). Klepa *et al.* (2019) mostraram como reciclar um rejeito de obras civis a partir da mistura do resíduo da construção civil com o óxido de alumínio é possível produzir uma célula fotovoltaica de baixo custo e de alta eficiência na geração de energia.

Medeiros *et al.* (2019) que mostraram como reduzir os custos como o consumo de energia no aquecimento de uma pousada na região de São Joaquim-SC, ao substituir o revestimento do telhado por uma manta térmica obtida a partir de resíduos de asfalto. Medeiros (2019) também reutilizou aproveitou as propriedades térmicas do resíduo de asfalto, mas na obtenção de uma caixa d'água com aquecimento solar, a qual possuiu uma eficiência térmica boa, onde o aquecimento da água ficou entre 29 e 42°C por quase 20 h por dia, eliminando o consumo de energia para o aquecimento da água e consequentemente economia com a sua aquisição.

A eficiência energética de uma instituição de ensino superior foi melhorada por Guerhardt *et al.* (2020), que usaram o biodiesel em geradores de energia em horário pico de consumo e conseguiram reduzir os custos com o consumo de energia e as emissões gases de efeito estufa. Oliveira (2019) mostrou como reduzir a geração de resíduos orgânicos e o consumo de energia a partir da obtenção de gás metano produzido por um biodigestor que degrada rejeitos de alimentos a sua praça de alimentação de um shopping da cidade de São Paulo-SP. Guerhardt *et al.* (2020) mostraram como um condomínio residencial conseguiu economizar como o consumo

de energia a partir do uso de placas solares no teto do edifício, tornando-o mais sustentável ambientalmente e economicamente.

Assim, esse trabalho tem o objetivo de apresentar um projeto de uma residência sustentável economicamente e ambientalmente, através da combinação de diversas tecnologias de construção sustentável (verde) associadas na sua arquitetura.

METODOLOGIA

A localização da residência foi na Região Metropolitana de São Luís do Maranhão, onde o valor da área construído é estimado em 1100 R\$/m². A planta alta do projeto da casa foi desenvolvida em Autodesk Revit®, sendo uma casa com área construída de 200 m², distribuídos em dois pisos de 100 m², disposta em uma área total de 300 m², onde pode ser plantada uma horta e/ou jardim.

As paredes serão construídas com bloco obtidos a partir de mistura de RCC com cimento e na composição da massa será usado RCC em pó misturado a cimentos e água, nas devidas proporções. O telhado tem uma área de 150 m², composto por telhas cerâmicas, disponibilizado em A, suportados por caibros e ripas de madeira.

Na terraplanagem da área da casa, serão usados resíduos da construção civil triturado, além de pedras derivadas da sua britagem nas bases e na elaboração do concreto e argamassa (PASCHOLIN FILHO *et al.*, 2018; RUIZ e PASCHOLIN FILHO, 2018). A casa usará portas, janelas, pisos e assoalhos de madeira certificada FSC do Instituto Brasileiro de Florestas. No telhado da casa, um conjunto de células fotovoltaicas contendo 10 placas dispostas em 2 linhas e 5 colunas.

A água de chuva será coletada do telhado por calhas que a direcionarão para quatro tanques de armazenamento de 10 m³ cada, instalados na área externa da casa, de forma que um retroalimenta o outro. Ambos os tanques serão aterrados. Bombas solares serão utilizadas para redirecionar a água dos tanques para a casa ou jardim. Os banheiros foram disponibilizados na parte superior da casa, para facilitar o reaproveitamento da água dos chuveiros e pias, que são redirecionadas para uma caixa d'água de 5 m³, aterrada na área externa da casa, a qual pode ser reutilizada na irrigação do jardim/horta. Gargalos serão utilizados para diretamente para a rede de água pluviais a água que extravasarem os tanques. Os tanques de 10 m³ custam 5.299,00, enquanto que o tanque de 5 m³ custa R\$ 2.599,00 (LEROY MERLIN, 2021).

Também serão instalados: um biodigestor com capacidade de 1500 L/dia será instalado na parte externa da residência, com um custo de R\$ 2.799,00 (OLIVEIRA, 2019); uma caixa d'água de 1000 L, com aquecimento solar será instalada no teto da residência, que tem um custo fica em torno de R\$ 450,00 (MEDEIROS, 2019) e lâmpadas de LED de 18W em toda a residência, que ajudam a economizar em 90% o consumo de energia.

Entre o telhado e os assoalhos, encontra-se a bateria e o sistema de controle do conjunto fotovoltaico. Kit gerador de energia solar 1,60 kWp, é composto pelo conjunto de células fotovoltaica, bateria estacionária, micro inversor Deye com Wifi e painel OSDA que produz 280 kW.h.mês. O kit foi cotado por R\$ 5.899,00 por cada placa e instalação e é composto por bateria estacionária, inversor de tensão. Como serão usados 10 kits, logo o seu custo total sai por R\$

59.989. A vida útil da célula fotovoltaica está estimada entre 20 e 25 anos (NEOSOLAR, 2021).

A precipitação na região foi obtida do site do Climatedo (2021), baseado na média dos últimos 30 anos. A partir dessa base de dados conseguiu-se nota que a temperatura varia entre 25 e 28 °C, com períodos solares entre 8 e 12 h diárias, a média de precipitação é de 186 mm, sendo os meses mais chuvosos concentrados entre fevereiro e maio, onde os índices superam os 300 mm e o período mais seco entre agosto a novembro, onde os índices são inferiores a 30 mm.

De acordo com as regras nacionais, a energia produzida pelas células fotovoltaicas (ou de qualquer outra forma) deve ser repassada para a concessionária local, que abate da conta de energia e deposita o crédito, caso esse valor seja superior ao consumido pela residência. Assim, se estimou que um único kit de célula fotovoltaica seja suficiente para o consumo total mensal da residência e os outros nove gerarão energia que será uma fonte de renda real para o consumidor. A economia com energia foi considerada a energia produzida pela célula somada a energia que seria gasta com o aquecimento de água e com os demais itens da residência.

$$\text{Economia Energia} = \text{Preço Energia} * \text{N}^{\circ} \text{Células} * \text{Taxa Conversão} \quad (1)$$

A redução do consumo de energia por fontes renováveis e/ou sustentáveis gera créditos de carbono (CC), que pode ser obtido usando a tabela de conversão do GHG Protocol. Ao se queimar o gás metano também se adquire créditos de carbono densidade, na razão de 20 CC por cada tonelada de metano. Para se obter a massa do metano usou-se a sua densidade do metano é 0,689 kg/m³. A cotação atual do crédito de carbono é 50 R\$ por tonelada de CO₂.

$$\text{Economia Emissão} = \text{Preço} * \text{Produção CC} \quad (2)$$

A economia com água de reuso, gás de cozinha e energia para aquecer o chuveiro será considerada como lucro, já que haveria gasto com a aquisição de água da concessionária local.

$$\text{Economia Água (R\$)} = \text{Preço Água} * \text{precipitação mensal} * \text{Área Telhado} \quad (3)$$

$$\text{Economia Gás (R\$)} = \text{Preço Gás} * \text{Consumido} \quad (4)$$

$$\text{Receita Total (R\$)} = \text{Somatório das Economias} \quad (5)$$

O valor da casa foi estimado em R\$ 220.000, incluindo os itens citados no projeto. Esse valor será simulado um investimento à taxa de 7,5% pelo Sistema de Amortização Constante feito por 25 ano a banco federal, em parcelas mensais (300). Para análise econômica do projeto foram usados: a taxa de retorno do investimento (TIR) que deve ser superior a taxa cobrada pelo banco, o valor presente líquido (VPL) que deve ser positivo e o tempo de retorno do investimento (payback) que deve ser menor que o período do investimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com AGUA-SNIS (2021) o consumo de água per capita em 2019 foi de 158 L/dia.hab e de acordo com a média citada pelo IBGE, o Brasil tem 4 habitantes por residência, assim, o consumo mensal de água por residência é igual a 18.960 L. No entanto, cerca de 10% da água consumida em jardins e hortas das residências (principalmente me condomínios).

A Tabela 1 mostra a climatologia da região metropolitana de São Luís – MA. A última coluna da tabela é o resultado da multiplicação da área do telhado de 120 m², pelos respectivos índices pluviométricos mensais, resultando no volume total de água que podem ser captados por mês.

Como se nota, somente nos meses escassos de chuva não haveria como suprir a residência com água de reuso, entretanto, com as caixas d'água que capturam duas vezes o volume necessários mensal, então, a água armazenada nos reservatórios é suficiente para suprir a necessidade de consumo desse período (somada com a reposições), não havendo a necessidade de aquisição de água da concessionária.

Tabela 1 - Climatologia da região metropolitana de São Luís – MA

Mês	Precipitação (mm)	Temperat. max. (°C)	Temperat. min (°C)	Volume (L/mês)
1	245	28	25	29400
2	309	27	25	37080
3	449	27	25	53880
4	419	27	25	50280
5	319	28	25	38280
6	172	28	26	20640
7	115	28	26	13800
8	35	29	26	4200
9	17	28	26	2040
10	16	28	26	1920
11	27	28	26	3240
12	103	28	26	12360
	185,5	27,83333	25,58333	22260

De acordo a SABESP, o valor cobrado pelo consumo de água é igual a 7,911 R\$/m³. Usando o consumo mensal de 18,96 m³ será obtido uma redução no custo com a aquisição de água de 150 R\$/mês.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtido para a economia de energia e gás consumidos pela residência. Supondo as médias de consumo de uma residência de classe média, de 280 kW.h e 10 m³ de gás de cozinha encanado por mês. A bandeira II vermelha de patamar 2 é a condição de preço praticada atualmente, considerada em situações críticas de geração de energia e acresce o valor da bandeira ao custo com a anergia. A redução nos custos desse dois itens geram uma economia de quase 350 R\$/mês.

Tabela 2 - Resultados para a economia de energia e gás

Redução do consumo de energia	Redução do consumo de gás		
Redução	280	kW.h.mês	10,0 m ³ /mês
Preço	0,98078	R\$/kW.h	6,48805 (R\$/m ³)
Bandeira Vermelha Patamar II	9,492 R\$		
Economia (R\$/mês)	284,11R\$/mês	64,88	

Fonte: ENEL (2021) e CONGAS (2021)

A Tabela 3 apresenta os resultados para a economia com a produção de energia e de créditos de carbono. A soma dos valores obtidos resulta em uma receita de R\$ 2.259,91 R\$/mês.

Como se nota, a concessionária de energia paga um valor referente à menor taxa cobrada (taxa de período de baixo consumo), mesmo assim, o resultado dessa compra de energia por esta empresa é 77,75% da receita total da residência.

Tabela 3 - Resultados da economia com a produção de energia e créditos de carbono

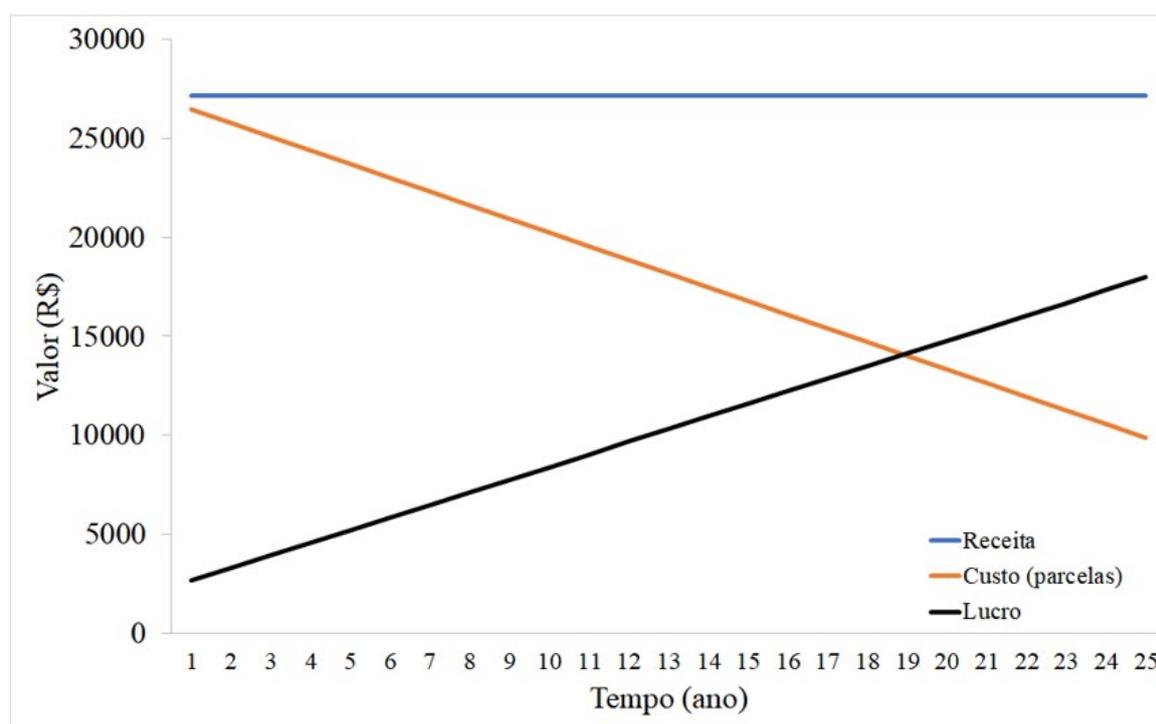
Produção de energia elétrica	Créditos de carbono			
Produção	2800	kW.h.mês		0,2047
Preço	0,62759	(R\$/kW.h)	50,00	(R\$/t CO ²)
Economia (R\$/mês)	1757,25	R\$/mês		10,23
Receita total anual (R\$/ano)	27.118,91			

A Tabela 4 mostra um resumo dos sistemas de amortização constante (SAC) e dos lucros obtidos após os pagamentos das parcelas. A tabela apresenta apenas a primeira e última parcela para os períodos mensal e anual. Para ambas, nota-se que os juros associados às parcelas são altos no início e baixo ao final do período. Ao subtrair as parcelas (custos) das receitas citadas anteriormente, nota-se que o lucro aumenta com o período, mas seu valor é sempre positivo em todo o período do financiamento. O comportamento de cada um dos itens está apresentado na Figura 1, que mostra a receita constante e os custos decrescente com o período. Inversamente às parcelas, o lucro aumenta com o tempo, o que demonstra que o projeto tende a se viabilizar com o tempo.

Tabela 4 - Resumo da tabela SAC e dos lucros após o pagamento das parcelas

	Mês 1	Mês 300	Ano 1	Ano 25
Amortização (R\$)	733,33	733,33	8800,00	8799,96
Juros (R\$)	1329,88	4,43	15666,00	345,77
Parcela (R\$)	2063,21	737,76	24466,00	9145,73
Lucro (R\$)	196,70	1522,15	2652,91	17973,18

Figura 1 - Curva do movimento financeiro do investimento na residência sustentável



A Tabela 5 mostra um resumo do fluxo de caixa do investimento financeiro. Como a tabe-

la contendo todos os valores mensais, ou anuais, do fluxo de caixa não cabe no artigo, foi necessário reduzir seus valores à soma de 300 meses (25 anos). Como se nota, a soma das parcelas foi quase o dobro (97,5%) do valor do empréstimo (investimento). Mesmo assim a receita total foi muito superior ao valor dos custos com as parcelas e quase 3 vezes o valor do empréstimo. Disso, um lucro de 56,76% dos custos com as parcelas foi obtido, o que deu um valor presente líquido (VPL) de R\$ 82 mil no período. O tempo de retorno do investimento (payback) de 1,11 ano (13 meses) e uma taxa de retorno do investimento (TIR) de 12% corroboram com a viabilidade econômica do projeto.

Tabela 5 - Retorno do investimento financeiro no período

Investimento (R\$)	Receita total (R\$)	Total Parcelas (R\$)	Lucro (R\$)
230.000,00	677.973,00	454.250,00	257.825,60
	VPL (R\$)	TIR	Payback (ano)
	R\$ 82.293,13	12%	1,11

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o desenvolvimento das planilhas de custo do projeto de investimento na residência sustentável, verificou-se que a venda da energia fotovoltaica é responsável por 77,75% da receita total da residência sustentável. O lucro anual variou entre R\$ 2,65 mil e R\$ 17,97 mil por ano, o que fornece uma VPL positiva de R\$ 82 mil, com uma TIR de 12% e um payback de 1,11 ano, demonstrando que o projeto é viável no período estudado.

Além da viabilidade econômica é possível citar que a residência reduz a zero o consumo de água de abastecimento, de energia elétrica do sistema de elétrico local e de gás de cozinha, minimizando o máximo possível os impactos devido ao consumo desses materiais. Ao usar resíduos da construção civil no aterro, nas bases, no concreto e na argamassa, minimiza o consumo de recurso naturais provenientes da extração de minérios. Quando utiliza madeira certificada por órgãos internacionais, evita que árvores sejam derrubadas das florestas indiscriminadamente. O uso da energia solar é uma fonte renovável, inesgotável e não poluente, evitando a geração de gases de efeito estufa e a quaisquer emissões que venham a poluir o meio ambiente, demonstrando que a residência é sustentável economicamente e ambientalmente.

REFERÊNCIAS

ÁGUA – SNIS. Diagnósticos 2019. Disponível em <<http://www.snis.gov.br>> acessado em Julho de 2021.

CLIMATEPO. Climatologia em São Luís, BR. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/94/saoluis-ma>> Acessado em Julho de 2021.

GUERHARDT, F.; SILVA, T. A. F.; GAMARRA, F. M. G.; RIBEIRO JÚNIOR, S. E. R. *et al.* A Smart Grid System for Reducing Energy Consumption and Energy Cost in Buildings in São Paulo, Brazil. *Energies* 2020, 13, 3874; doi:10.3390/en13153874

KLEPA, R. B.; MEDEIROS, M. F.; FRANCO, M. A. C. TAMBERG, E. T. *et al.* Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control. *Journal of Cleaner Production*; 209, 250 - 258, 2019.

LEROY MERLIN. Departamentos. Disponível em < <https://www.leroymerlin.com.br/tanque-polietileno-fortplus-10-000l-tampa-rosca-azul-fortlev> > acessado em Julho de 2021.

MEDEIROS, M.F.; FRANCO, M.A.C.; KLEPA, R.B. Viabilidade econômica de mantas térmicas, produzidas a partir de resíduos de asfalto, para revestimento de telhados Economic viability of a thermal blanket produced from asphalt waste used in roof covering. revista Matéria, v.24, n.4, 2019.

MEDEIROS, M. F. Utilização de resíduos de Asfalto na confecção de uma caixa d'água com aquecimento solar. (Dissertação) Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, da Universidade Nove de Julho, 2019.

NEOSOLAR. Kit célula fotovoltaica. Disponível em www.neosolar.com.br/loja/checkout/cart. Acessado em Julho de 2021.

OLIVEIRA, D. E. Estudo de viabilidade para produção de energia elétrica por meio de biogás, produzido pela biodigestão de resíduos sólidos orgânicos de uma central de abastecimento paulista. (Dissertação) Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, da Universidade Nove de Julho, 2019.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; CAMELO, D. ; FRASSON, S. ; CORTESE, T. T. P. ; CONTI, D. Papel das Usinas de Reciclagem de entulho na inserção da variável ambiental na construção civil. In: Encontro Internacional de Gestão Empresarial e Meio Ambiente - XX ENGEMA, 2018.

RUIZ, A.; PASCHOALIN FILHO, J. A. Utilização de agregados reciclados na execução de sub-base de pavimento nas cidades de são paulo e madri: um estudo comparativo. In: Singep - Simpósio Internacional de Gestão Empresarial, 2018.

SILVA, R.V.; de BRITO, J.; DHIR, R.K. Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: a review. Journal of Cleaner Production, v.143, pp 598-614, 2017