

# **Avaliação do Custo Total de Propriedade do uso de energia solar fotovoltaica e da energia elétrica convencional**

**Fabiana Frigo Souza** (UFPR) - fabiana\_fs@hotmail.com

**Thiago Vargas Maldonado** (UFPR) - maldonado\_thiago@yahoo.com.br

**Sidinei Augusto da Silva Junior** (UNISUL) - sidineiaugusto19@gmail.com

## **Resumo:**

*A discussão sobre a utilização de energia elétrica solar tem tomado cada vez mais espaço entre as organizações, seja por motivos financeiros ou até mesmo por questões de responsabilidade socioambiental. O estudo teve como objetivo identificar o custo total de propriedade do uso da energia solar fotovoltaica e da energia elétrica convencional. Utilizou-se como base de análise empresas de comércio de combustíveis (postos) devido a maior homogeneidade nas variáveis necessárias para o estudo. Os resultados apontaram que um dos principais desafios na aquisição de sistemas fotovoltaicos se encontra nas placas que necessariamente necessitam ser importadas, sendo afetadas diretamente pela variação cambial. Foi considerado, para fins de análise, um TCO de 25 anos na utilização entre os dois sistemas e os resultados apontaram que apesar do custo de aquisição do sistema solar fotovoltaico ser superior ao defendido na literatura seminal do custo total de propriedade, é economicamente viável, se comparado com a utilização do sistema elétrico convencional no mesmo recorte temporal, podendo gerar uma economia de até 500%. Por fim, o estudo abre possibilidades de análises em setores diferentes ou em estudos de casos em que a tendência é que essa economia supere a demonstrada nos resultados.*

**Palavras-chave:** *Custo Total de Propriedade. Energia Elétrica. Energia Solar.*

**Área temática:** *Abordagens contemporâneas de custos*

## **Avaliação do Custo Total de Propriedade do uso de energia solar fotovoltaica e da energia elétrica convencional**

### **Resumo**

A discussão sobre a utilização de energia elétrica solar tem tomado cada vez mais espaço entre as organizações, seja por motivos financeiros ou até mesmo por questões de responsabilidade socioambiental. O estudo teve como objetivo identificar o custo total de propriedade do uso da energia solar fotovoltaica e da energia elétrica convencional. Utilizou-se como base de análise empresas de comércio de combustíveis (postos) devido a maior homogeneidade nas variáveis necessárias para o estudo. Os resultados apontaram que um dos principais desafios na aquisição de sistemas fotovoltaicos se encontra nas placas que necessariamente necessitam ser importadas, sendo afetadas diretamente pela variação cambial. Foi considerado, para fins de análise, um TCO de 25 anos na utilização entre os dois sistemas e os resultados apontaram que apesar do custo de aquisição do sistema solar fotovoltaico ser superior ao defendido na literatura seminal do custo total de propriedade, é economicamente viável, se comparado com a utilização do sistema elétrico convencional no mesmo recorte temporal, podendo gerar uma economia de até 500%. Por fim, o estudo abre possibilidades de análises em setores diferentes ou em estudos de casos em que a tendência é que essa economia supere a demonstrada nos resultados.

Palavras-chave: Custo Total de Propriedade. Energia Elétrica. Energia Solar.

Área temática: Abordagens contemporâneas de custos.

### **1 Introdução**

O desenvolvimento e crescimento da economia brasileira (PEREIRA *et al.*, 2017), bem como o aumento do uso de equipamentos elétricos gera um incremento na demanda por energia elétrica no país, o que leva a uma necessidade no aumento de geração da mesma (ROSA; GASPARIN, 2016). Essa tendência é evidenciada pelo aumento do consumo de energia elétrica, que apresentou evolução de 9,9% no setor industrial, por exemplo, entre 2009 e 2011 (MME, 2011) e pelo crescimento da intensidade energética brasileira de, aproximadamente, 2% ao ano (PEREIRA *et al.*, 2017). Ainda, há uma estimativa, segundo a Agência Internacional de Energia – IEA (2011), de que a eletricidade represente 23% da demanda total de energia mundial até 2050, corroborando com a ideia da necessidade de ampliação da capacidade de geração de energia elétrica (TORRES, 2012).

Uma das formas alternativas e mais simples para o aumento da capacidade de geração de energia elétrica é por meio da utilização da energia solar (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006; ESPOSITO; FUCHS, 2013; PEREIRA *et al.*, 2017), com destaque para a energia solar fotovoltaica (RÜTHER, 2004), que utiliza sistemas fotovoltaicos para a conversão da luz solar em energia elétrica (TORRES, 2012). Tal recurso tem grande potencial de aproveitamento no Brasil (PEREIRA *et al.*, 2017), que possui altos índices de radiação, superiores aos níveis registrados na Alemanha, por exemplo, um dos países líderes na geração deste tipo de energia (ESPOSITO; FUCHS, 2013; ROSA; GASPARIN, 2016). Apesar disso, atualmente a energia solar representa menos de 1% da oferta de energia elétrica no Brasil, segundo Balanço Energético Nacional de 2019, sendo seu uso ainda incipiente (TORRES, 2012).

Os custos associados à aquisição e instalação dos sistemas solares fotovoltaicos têm sido apresentados com um dos principais problemas para a sua implementação no Brasil, já que estes

podem chegar a custar 50 vezes mais do que uma central hidrelétrica com a mesma capacidade (SHAYANI *et al.*, 2006). Nos últimos anos estes custos têm sofrido uma redução, principalmente decorrentes do preço dos painéis fotovoltaicos (TORRES, 2012), no entanto, essa melhora reflete-se principalmente em países como os Estados Unidos e os da Europa (MME, 2012), onde o mercado é amplo, enquanto sua adoção no Brasil é impactada pelos custos, sobretudo relacionados à importação dos equipamentos, de origem, em sua maioria, da China, que é líder na produção de painéis (ESPOSITO; FUCHS, 2013), ficando refém, ainda, de aspectos como a variação do câmbio.

Apesar do alto custo relacionado à instalação dos sistemas solares fotovoltaicos, os equipamentos utilizados possuem uma vida útil média de 30 anos, o que leva à necessidade de uma análise que considere tal período (SHAYANI *et al.*, 2006). Neste sentido, percebe-se que a análise relacionada a viabilidade de instalação de sistemas fotovoltaicos, seja doméstico ou em empresas, pode ser feita utilizando o conceito de custo total de propriedade (*Total Cost of Ownership* - TCO). Ellram (1993) defende que, sob a perspectiva do TCO, as aquisições devem ser analisadas considerando os custos relacionados à utilização de determinado bem e não somente seu custo de aquisição. Assim, a tomada de decisão, principalmente relacionada à investimentos elevados, deve considerar todos os custos existentes na aquisição e utilização do bem durante toda a sua vida útil e não apenas o custo inicial (ELLRAM, 1993).

Desta forma, considerando que o custo de aquisição e instalação de um sistema solar fotovoltaico é alto, quando comparado ao custo da energia elétrica convencional, mas que seus benefícios podem ser obtidos durante um período de 30 anos, esta não é a única análise que deve ser feita, já que todo o ciclo de vida do produto deve ser analisado. Assim, faz-se necessária a análise sob a perspectiva do TCO, permitindo a identificação dos custos relacionados ao uso da energia elétrica a partir de fontes convencionais e da energia solar, identificando a viabilidade da aquisição e instalação do sistema solar fotovoltaico. Neste sentido, este estudo busca responder a seguinte pergunta de pesquisa: qual a diferença entre o custo total de propriedade do uso de energia solar fotovoltaica e energia elétrica convencional? Para responder ao problema proposto, tem-se como objetivo identificar o custo total de propriedade do uso da energia solar fotovoltaica e da energia elétrica convencional.

Este estudo justifica-se pela importância da temática de utilização de fontes alternativas de energia, principalmente no Brasil, cuja matriz elétrica concentra-se nas hidroelétricas, sujeita a períodos de escassez de água, onde ocorre a diminuição da oferta e, conseqüentemente, aumento no preço da energia elétrica, além de gerar riscos no sistema energético (PEREIRA *et al.*, 2017). Além disso, nestes momentos onde o uso de água precisa ser racionado, a utilização de hidroelétricas impacta no uso deste recurso natural para outras finalidades, tornando importante o papel da energia solar para o país (PEREIRA *et al.*, 2017). Torna-se oportuno, ainda, evidenciar para a academia e seus interessados (contadores, empresas e consumidores em geral) as possibilidades e a viabilidade associada ao uso deste tipo de tecnologia, que pode apresentar benefícios não somente financeiros, como também de redução de impactos ambientais e sociais, conforme evidenciado nos achados de Torres (2012), que analisou seu uso em uma Instituição de Ensino.

## **2 Custo Total de Propriedade**

O custo total de propriedade é definido como um enfoque em custos para se compreender, gerenciar e flexibilizar análises em processos de compra, abarcando além do custo de aquisição (*ex ante*) em que surgem gastos pagos pelo bem, tais como, seguros, transporte, tarifas ou taxas, e também outros gastos, desde o pedido, busca de fornecedores, qualificação e treinamento, os gastos relacionados com o efetivo recebimento, inspeção, armazenamento, e assim por diante. O TCO também deve incluir custos de utilização do item,

como a ociosidade ou devoluções de clientes associados com materiais defeituosos, bem como a má qualidade dos componentes (ELLRAM, 1994).

A abordagem do TCO origina-se no arcabouço base dos princípios sobre compras de Harriman (1928) e tem sido aderido e aplicado às entidades desde os anos oitenta (ELLRAM; SIFERD, 1993; SACCANI; PERONA; BACCHETTI, 2017). Desde então, diversas pesquisas têm divulgado as características, bases conceituais e aplicabilidade do TCO para fins de tomada de decisão sobre itens como elegibilidade de fornecedores, investimentos de médio e longo prazo, entre estas pesquisas ressalta-se os trabalhos de Ellram (1993; 1994), Ellram e Siferd (1993), Riggs e Robbins (1998), David, Schuff e Louis (2002). Pesquisas atuais continuam a utilizar este artefato para fins de análises comparativas entre tecnologias e alternativas sustentáveis a bens de consumo duráveis (BELZOWSKI; GREEN, 2013; BICKERT, 2014; WU; INDERBITZIN; BENING, 2015; PESSIN *et al.*, 2018; PALMER *et al.*, 2018).

O TCO é utilizado em especial para estimar e avaliar todos os custos que incorrerão durante a vida útil de determinado investimento, da necessidade de aquisição, até seu descarte (SACCANI *et al.*, 2017). Este tipo de análise, é baseado nas análises de ciclo de vida (*Life Cycle Analysis - LCA*), entretanto se detém aos custos incorridos e não avalia de fato todo o ciclo de vida do bem. Sakurai (1997) evidencia a importância de análise do ciclo de vida para gestão dos custos, e se utiliza desse termo para se referir às análises de TCO, ainda que seja pouco preciso. Deste modo, o autor trata da gestão integrativa e global dos custos, explica as categorias ou etapas: investimento inicial de capital, custos de operação, manutenção e custos de descarte.

Assim, por vezes quando se opta por um produto com preço de compra superior a outros, muitas vezes esta decisão está relacionada a percepção e que, durante toda a vida útil do bem incluindo sua destinação final, a recorrência de custos de manutenção e de operação será menor e conseqüentemente trará um benefício econômico futuro superior as demais alternativas, o que faz com que o valor de compra se equilibre. O que corrobora Bierna e Waterstraat (2004), que explicam que o preço de compra é apenas um pequeno elemento dos custos que irão incorrer durante toda a vida.

Adiante a literatura acerca do custo total de propriedade ao longo do tempo (Quadro 1) parece se organizar em dois tipos de análises específicas, as que se preocupam com os custos da transação em si, e as que se preocupam com o ciclo de vida do produto na organização.

Quadro 1 - Principais desenvolvimentos do TCO.

<b>Categorias do TCO</b>	<b>Autor/Ano</b>	<b>Descrição</b>
<b>Foco na Análise da Transação (Compra)</b>	Ellram e Siferd (1993)	O TCO implica que todos os custos associados à aquisição, uso e manutenção de um bem, incluindo os custos de armazenamento, mão-de-obra e outros, portanto, não apenas preço de compra.
	Weber <i>et al.</i> (2010)	Atividades relacionadas à seleção, qualificação, efetivação e manutenção de fornecedores. Envolve todos os custos burocráticos associados a um pedido.
	Ferrin e Plank (2002); Nurhadi, Boren e Ny (2014)	Custos com manutenção, reparo e operação. Relacionados com a preservação e preparação dos recursos necessários para a operação.
	Gonen e Yukcu (2012)	Estabelece a relação entre o TCO e os custos com qualidade. Estudo em uma indústria automobilística na aquisição de um equipamento industrial.
	Coser e Souza (2015)	Categorização do TCO. Apresentam uma análise teórica e empírica para investigar o uso da técnica do custo total de uso e propriedade para compra de um equipamento em indústria localizada no Rio Grande do Sul.
	Saccani <i>et al.</i> (2017)	Pesquisa do TCO de bens de consumo duráveis (máquinas de lavar roupa). Neste modelo conceitual com aplicação empírica, adotou uma

		ferramenta de Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) para facilitar a implementação em grande escala, em uma grande revendedora de eletrodomésticos, a fim de apoiar as decisões de compra dos clientes.
	Palmer <i>et al.</i> (2018)	Análise do custo total de propriedade e participação de mercado para veículos híbridos e elétricos no Reino Unido, EUA e Japão, recomendam políticas públicas que venha a tratar de incentivos na compra devido ao custo inicial mais alto destes veículos.
<b>Foco na Análise Temporal (Ciclo de Vida)</b>	Ellram e Siferd (1993) Ellram (1994)	Representa uma abordagem ampla que requer da organização o controle, identificação e mensuração de todos os custos relevantes das atividades de aquisição, posse e uso de um bem ou serviço. Pode ser definido como um modelo do ciclo de vida de um equipamento, produto ou serviço.
	Sakurai (1997)	As etapas incluem normalmente: a) pesquisa e desenvolvimento; b) desenho do produto, incluindo o protótipo, o custo alvo e os testes; c) fabricação, inspeção, embalagem e armazenagem; d) <i>marketing</i> , promoção e distribuição; e) vendas e serviço.
	Santos e Gonçalves (2006)	Adota a análise do Ciclo de vida, comparando o custo total de propriedade (TCO) na utilização de dois softwares, um proprietário e outro livre, para detectar o menos oneroso.
	Dogan e Aydin (2011)	Custos relacionados à gestão de pessoal para a aquisição, preparação e utilização do bem em seu ciclo de vida.
	Prabhakar e Sandborn (2012)	Custos relacionados diretamente com a aquisição de um produto, vistos no longo prazo, ou seja, no ciclo de vida do produto.
	Al-Alawi e Bradley (2013)	Analisa o custo total de propriedade dentro de quatro categorias de veículos, classificados em elétricos e híbridos, considerando a vida útil dos veículos.
	Nurhadi, Boren e Ny (2014)	Modelo do TCO para Sistema de transporte na Suécia, contendo: Custo de investimento, energia, manutenção, impostos sobre carbono, aquecimento, bateria extra. Ciclo de vida avaliado em oito anos.

Fonte: Maldonado *et. al.* (2018).

Atualmente existem diversas variações do uso, em especial para analisar comportamentos do ciclo envolvendo determinado objeto e seu desempenho em custos (AL-ALAWI; BRADLEY, 2013; BELZOWSKI; GREEN, 2013; WU *et al.*, 2015; COSER; SOUZA, 2015; SACCANI *et al.*, 2017; PESSIN *et al.*, 2017).

Saccani *et al.* (2017) propuseram um modelo geral para avaliar o TCO de bens de consumo duráveis como veículos e eletrodomésticos, nesta abordagem visaram dar suporte para as decisões de compra no domínio *business-to-business* (*b2b*), utilizando no contexto de empresa para consumidor, descobriram que o modelo permite calcular os custos incorridos pelo cliente desde a fase de pesquisa e seleção até o final da vida útil do produto. Discutem algumas formas de aplicação do modelo: a) Avaliação do custo total de propriedade (TCO); b) avaliação do custo médio total de propriedade do produto; c) avaliação do custo médio total de propriedade do cliente; d) custo médio total de propriedade. Defendem que a proposta permite o uso como ferramenta de suporte à decisão, permitindo comparações de produtos e análise de estrutura de custos.

### 3 Metodologia

Os dados necessários e coletados para a operacionalização deste estudo são secundários, disponíveis na internet, além daqueles coletados junto a empresa de engenharia, cuja função foi auxiliar na elaboração do orçamento do projeto de instalação elétrica do sistema solar fotovoltaico, permitindo a identificação do custo de aquisição/instalação do mesmo.

Para a instalação de um sistema solar fotovoltaico, inicialmente é necessário definir alguns parâmetros relacionados à execução do projeto. Estes parâmetros estão, em sua maioria,

vinculados às características do ambiente onde o sistema será instalado. Para definição destes parâmetros, optou-se por tomar como base postos de combustíveis, por ser considerada pelos pesquisadores como empresas onde as características do ambiente possuem pouca variação, permitindo a utilização de parâmetros médios que podem ser considerados válidos para o ramo como um todo.

Assim, para a elaboração do orçamento de instalação da energia solar fotovoltaica fez-se a consulta a uma empresa de engenharia localizada em São José-SC que possui ampla experiência no ramo, tendo executado mais de 140 projetos de energia solar fotovoltaica desde 2014. Para isso, foi necessário definir os parâmetros apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Parâmetros necessários para a elaboração do orçamento de instalação da energia solar fotovoltaica.

Variável	Operacionalização
Área útil do telhado	Média de três postos localizados em SC.
Consumo de energia total anual	Média de três postos localizados em SC.
Demanda contratada/disjuntor cadastrado na concessionária	Média entre os postos pertencentes ao grupo tarifário selecionado.
Grupo tarifário	Selecionado aquele que apresenta melhor retorno do investimento, em função do custo da energia.
Dados de irradiação solar	Selecionada a localização de um dos postos, conforme acessibilidade.
Características do telhado	Selecionado o mais comum para postos de combustíveis.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Destaca-se que no cálculo do orçamento os custos dos módulos fotovoltaicos que são importados não foram impactados pela alta do dólar evidenciada nos meses iniciais de 2020, já que a empresa de engenharia considera neste cálculo os materiais em estoque. Ainda, considerou-se, para elaboração do orçamento e identificação da geração de energia pelo sistema solar fotovoltaico, que a inclinação do telhado é de 10° virado para o norte.

Além da obtenção do custo de aquisição e instalação do sistema solar fotovoltaico, também foram consideradas as variáveis apresentadas no Quadro 3 para o cálculo dos demais itens representativos do TCO.

Quadro 3 - Parâmetros necessários para a identificação do TCO.

Variável	Operacionalização
Tarifa de energia elétrica convencional	Média entre os postos pertencentes ao grupo tarifário selecionado.
Consumo médio de energia elétrica	Média de três postos localizados em SC.
Financiamento	Considerou-se a possibilidade de financiamento de 100% do sistema, utilizando-se uma taxa de juros estimada a partir das taxas oferecidas para Financiamento Solar pelos bancos.
Depreciação	Considerada de acordo com a especificação técnica do projeto de energia solar fotovoltaica.
Energia gerada pelo sistema solar fotovoltaico	Obtido a partir da especificação técnica do projeto de energia solar fotovoltaica.
Previsão de reajustes da tarifa de energia elétrica	Obtido a partir de divulgação no site da ANEEL.
Manutenção	Substituição de inversores, que possuem vida útil estimada em 15 anos.
COSIP - Contribuição para o Custeio da Iluminação Pública	Média de três postos localizados em SC, considerando o valor pago antes da instalação do sistema.

Taxa de disponibilidade	Calculada a partir da taxa mínima de consumo (100kWh) e da tarifa média utilizada neste estudo, com base em informações disponibilizadas pela concessionária local.
-------------------------	---

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, foram considerados todos os itens de custos relacionados ao uso do sistema solar fotovoltaico e da energia elétrica convencional para o período de 25 anos, vida útil do sistema em questão, conforme orientação técnica. Destaca-se, no entanto, que o custo com descarte não foi considerado na análise, visto que não há registros de descarte de sistemas solares fotovoltaicos.

Também foram considerados o consumo médio de energia elétrica dos postos de combustíveis tomados como base para identificação do custo mensal com energia elétrica convencional, sendo utilizado o valor cobrado pela concessionária local de energia de Florianópolis –SC, cidade que foi considerada também para as demais análises.

## 4 Resultados

### 4.1 Custos da Energia Solar Fotovoltaica e da Energia Elétrica Convencional

Para o cálculo do TCO, considerou-se como custo de aquisição/instalação aquele decorrente do orçamento de projeto de instalação solar fornecido pela empresa de engenharia. Assim, considerando os parâmetros apresentados na Tabela 1, obteve-se o orçamento de R\$ 187.495,07 para o custo de instalação/aquisição do sistema solar fotovoltaico.

Tabela 1 - Valores utilizados para o cálculo do orçamento do sistema solar fotovoltaico

Variável	Valor utilizado
Área útil do telhado	403 m <sup>2</sup>
Consumo de energia total anual	70,21 MWh
Disjuntor cadastrado na concessionária	100 A
Grupo tarifário	Grupo B
Dados de irradiação solar	Posto localizado na cidade de Florianópolis - SC - endereço suprimido por escolha dos pesquisadores.
Características do telhado	Telha de fibrocimento

Fonte: Elaborado pelos autores.

Além do custo de aquisição, tem-se o custo com manutenção, representado pela substituição de inversores no 15º ano, no valor de R\$ 22.131,40 e a depreciação de 1,5% no primeiro ano e 0,7% nos demais. Considerou-se, ainda, a possibilidade de financiamento de 100% do custo de aquisição em um período de 7 anos, que é o tempo médio que as empresas utilizam, conforme informações disponibilizadas no orçamento do projeto. Utilizou-se uma taxa de juros de 1% a.m., considerada uma média geral entre as taxas oferecidas pelos bancos para esse tipo de crédito.

Para o sistema solar fotovoltaico, tem-se ainda a taxa de disponibilidade, que trata da taxa cobrada pela concessionária de energia elétrica por colocar a sua estrutura à disposição do consumidor e é cobrada quando não há utilização do sistema convencional, que se espera que deve ocorrer quando da instalação do sistema solar fotovoltaico. Assim, considerou-se o valor de R\$ 64,70 por mês para esse sistema.

A energia elétrica convencional não apresenta custo de aquisição/instalação, visto que a estrutura é posta à disposição do usuário pela concessionária local de energia elétrica. Assim, considerou-se apenas os custos relacionados ao fornecimento de energia elétrica, ao valor de 0,647033 por kWh (ou 647,033 por MWh) no ano 1, com uma previsão de crescimento de

3,78% ao ano nesse valor.

Para ambos os sistemas, tem-se, também, a cobrança da COSIP, que pode variar entre Municípios e em função do consumo. Assim, foi considerado a partir da média paga pelos 3 postos utilizados de base e, portanto, foi considerado o valor de R\$ 176,83 por mês.

#### 4.2 Custo total de propriedade

Para os cálculos dos TCOs considerou-se um consumo médio de 70,21 MWh ao ano, sendo que o sistema solar fotovoltaico projetado possui uma geração esperada de energia de 70,27 MWh ao ano.

Assim, a partir do cálculo do TCO da energia solar fotovoltaica identificou-se que o custo total de propriedade para 25 anos representa 169% do seu valor de aquisição, quando realizado à vista, e 217%, quando realizado a prazo, conforme apresentado nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Custo total de propriedade do sistema solar fotovoltaico – à vista.

À vista	Instalação	Depreciação	Manutenção	Taxa de disponibil. + COSIP	TCO/Ano
Ano 1	R\$ 187.495,07	R\$ 2.812,43	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 193.205,82
Ano 2	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 3	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 4	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 5	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 6	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 7	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 8	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 9	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 10	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 11	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 12	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 13	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 14	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 15	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 22.131,40	R\$ 2.898,32	R\$ 26.342,19
Ano 16	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 17	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 18	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 19	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 20	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 21	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 22	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 23	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 24	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 25	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
<b>Aquisição</b>				<b>R\$ 187.495,07</b>	
<b>% aquisição em relação ao TCO</b>				<b>59%</b>	
<b>TCO Acumulado</b>				<b>R\$ 316.396,07</b>	
<b>% TCO em relação a aquisição</b>				<b>169%</b>	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 3 - Custo total de propriedade do sistema solar fotovoltaico – a prazo.

A prazo	Instalação	Depreciação	Manutenção	Taxa de disponibil. + COSIP	TCO/Ano
Ano 1	R\$ 39.717,60	R\$ 2.812,43	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 45.428,35
Ano 2	R\$ 39.717,60	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 43.928,39
Ano 3	R\$ 39.717,60	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 43.928,39
Ano 4	R\$ 39.717,60	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 43.928,39
Ano 5	R\$ 39.717,60	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 43.928,39



Ano 6	R\$ 39.717,60	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 43.928,39
Ano 7	R\$ 39.717,60	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 43.928,39
Ano 8	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 9	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 10	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 11	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 12	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 13	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 14	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 15	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 22.131,40	R\$ 2.898,32	R\$ 26.342,19
Ano 16	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 17	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 18	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 19	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 20	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 21	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 22	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 23	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 24	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
Ano 25	R\$ 0,00	R\$ 1.312,47	R\$ 0,00	R\$ 2.898,32	R\$ 4.210,79
<b>Aquisição</b>				<b>R\$ 187.495,07</b>	
<b>% aquisição em relação ao TCO</b>				<b>46%</b>	
<b>TCO Acumulado</b>				<b>R\$ 406.924,20</b>	
<b>% TCO em relação a aquisição</b>				<b>217%</b>	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Percebe-se, portanto, que conforme apresentado por Shayani *et al.* (2006), os custos com a aquisição e instalação dos sistemas solares fotovoltaicos apresentam-se, ainda, elevados, o que pode impactar na sua adoção. Apesar disso, quando analisado sob a perspectiva do TCO, tem-se que o custo de aquisição representa 59% e 46%, para a compra à vista e para a compra a prazo, respectivamente, do custo total ao longo de 25 anos, o que vai contra a ideia de Ellram (1994) de que os custos de aquisição representam cerca de 1/3 do custo total de propriedade, mas se alinha à ideia proposta por Bierna e Waterstraat (2004) de que o custo de aquisição é apenas um dos componentes de custos que serão incorridos durante toda a vida de um determinado produto.

Em relação à energia elétrica convencional, apesar de não haver custo de aquisição, tem-se um TCO acumulado de R\$ 1.889.943,42 ao longo dos 25 anos analisados, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Custo total de propriedade do sistema de energia convencional.

Em MWh	Tarifa	Consumo médio	COSIP	TCO/Ano	TCO Acumulado
Ano 1	R\$ 647,03	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 47.552,26	R\$ 47.552,26
Ano 2	R\$ 671,49	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 49.269,53	R\$ 96.821,79
Ano 3	R\$ 696,87	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 51.051,71	R\$ 147.873,50
Ano 4	R\$ 723,22	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 52.901,26	R\$ 200.774,76
Ano 5	R\$ 750,55	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 54.820,72	R\$ 255.595,48
Ano 6	R\$ 778,92	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 56.812,73	R\$ 312.408,21
Ano 7	R\$ 808,37	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 58.880,04	R\$ 371.288,25
Ano 8	R\$ 838,92	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 61.025,50	R\$ 432.313,75
Ano 9	R\$ 870,63	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 63.252,05	R\$ 495.565,80
Ano 10	R\$ 903,54	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 65.562,77	R\$ 561.128,58
Ano 11	R\$ 937,70	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 67.960,84	R\$ 629.089,42
Ano 12	R\$ 973,14	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 70.449,55	R\$ 699.538,96
Ano 13	R\$ 1.009,93	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 73.032,33	R\$ 772.571,30
Ano 14	R\$ 1.048,10	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 75.712,75	R\$ 848.284,05

Ano 15	R\$ 1.087,72	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 78.494,48	R\$ 926.778,53
Ano 16	R\$ 1.128,84	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 81.381,36	R\$ 1.008.159,89
Ano 17	R\$ 1.171,51	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 84.377,37	R\$ 1.092.537,26
Ano 18	R\$ 1.215,79	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 87.486,63	R\$ 1.180.023,89
Ano 19	R\$ 1.261,75	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 90.713,41	R\$ 1.270.737,30
Ano 20	R\$ 1.309,44	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 94.062,17	R\$ 1.364.799,47
Ano 21	R\$ 1.358,94	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 97.537,51	R\$ 1.462.336,98
Ano 22	R\$ 1.410,31	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 101.144,22	R\$ 1.563.481,20
Ano 23	R\$ 1.463,62	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 104.887,26	R\$ 1.668.368,47
Ano 24	R\$ 1.518,94	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 108.771,79	R\$ 1.777.140,26
Ano 25	R\$ 1.576,36	70,21	R\$ 2.121,92	R\$ 112.803,16	R\$ 1.889.943,42
<b>Aquisição</b>			<b>R\$ 0,00</b>		
<b>TCO Acumulado</b>			<b>R\$ 1.889.943,42</b>		

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota-se que apesar da inexistência de custo de aquisição, o TCO ao longo de 25 para a utilização da energia elétrica convencional se apresenta elevado, reforçando a ideia de que os custos de utilização, e não apenas os de aquisição, devem ser analisados para a tomada de decisão (ELLRAM, 1993). Partindo desta ideia, tem-se que, comparativamente com o gasto realizado no uso da energia elétrica convencional em 25 anos, seria possível a aquisição de outros 10 sistemas solares fotovoltaicos ou, caso fosse considerado o TCO acumulado destes, a energia convencional representa entre 4 e 5 vezes o TCO do sistema solar fotovoltaico, seja adquirido à vista ou a prazo.

Apesar da importância da análise dos custos relacionados ao uso ou ao período pós-aquisição, que, no caso do sistema convencional representa 100% e que no sistema solar fotovoltaico representa entre 40 e 60% do TCO acumulado, Ellram (1993) defende que eles são os menos analisados pelas empresas quando da tomada de decisões. Reforça-se, portanto, a importância da análise dos custos incorridos ao longo do ciclo de vida dos produtos, incluindo não somente aspectos relacionados à sua aquisição, mas também ao seu uso, que podem influenciar no montante apresentado e, conseqüentemente, a decisão do negócio.

Identifica-se, neste sentido, que uma análise entre a adoção de um sistema solar fotovoltaico e a permanência com a utilização da energia convencional fornecida pela concessionária local poderia ser enviada caso fosse considerada a análise relacionada apenas ao custo de aquisição do sistema solar, que ainda apresenta um custo elevado, apesar da sinalização de redução ao longo do tempo. Portanto, com uma análise comparativa que inclui os 25 anos de uso, percebe-se que, apesar de incorrer em maior investimento, o sistema solar fotovoltaico representaria uma economia de cerca de R\$ 1.500.000,00 para o negócio, independente da aquisição ser à vista ou a prazo. Assim, evidencia-se a existência de benefícios financeiros, como também demonstrado por Torres (2012), na adoção do sistema solar fotovoltaico.

## 5 Considerações Finais

Este estudo teve como objetivo identificar o custo total de propriedade do uso da energia solar fotovoltaica e da energia elétrica convencional utilizando como parâmetro de análise a aquisição de sistemas para postos de combustíveis. Os resultados apontam divergências em relação aos estudos de Ellram (1994), visto que, o custo de aquisição, a depender da condição de pagamento escolhida para o investimento, variam entre 7% e 27% a mais do que o defendido pela autora. Entretanto, apesar do elevado custo de aquisição do sistema, a análise do custo total de propriedade demonstrou a viabilidade do projeto em relação ao uso de energia convencional fornecido pelas distribuidoras, podendo chegar a uma economia de até 5 vezes em relação ao sistema solar. Neste sentido, o estudo demonstra que, apesar dos entraves econômicos

existentes nas aquisições das placas solares, a implementação deste tipo de energia é economicamente interessante para este segmento.

Cabe salientar, no entanto, que outros aspectos podem influenciar no custo total de propriedade relacionado ao sistema solar fotovoltaico, como o valor pago pela concessionária ao usuário quando este fornece parte da sua energia gerada para o sistema comum, porém, considerou-se inviável tal análise, que somente poderia ser feita em um estudo de caso detalhado, dado a necessidade de uma análise completa acerca do uso diário, com a identificação dos momentos em que a geração de energia do sistema solar fotovoltaico fosse maior do que o consumo, gerando um excedente de energia que seria injetado no sistema elétrico da concessionária.

Por fim, é importante salientar que a adoção da energia solar possui diversos outros benefícios não econômicos, como o impacto ambiental causado pela empresa em detrimento a utilização de energia convencional produzida por centrais hidrelétricas, que apesar de serem consideradas energias limpas, possuem grande impacto ambiental e social nas regiões em que são instaladas (MONTAÑO *et al.*, 2014). Também, a independência da empresa em relação às concessionárias de energia, como falta de fornecimento por manutenções na rede, quedas de energia ou bandeiras tarifárias causadas por fenômenos naturais como estiagem nas regiões de usinas.

Ao analisar os resultados deste estudo, algumas limitações devem ser consideradas, podendo representar lacunas que podem ser preenchidas por estudos futuros acerca da temática do TCO ou da energia solar. Neste sentido, sugere-se que sejam realizados estudos que ampliem a capacidade de uso da energia solar, ao analisar a viabilidade de instalação e uso de usinas solares para a geração de energia elétrica, que podem ser também analisadas sob a perspectiva do custo total de propriedade. Além disso, sugere-se pesquisas que analisem a viabilidade do uso desta tecnologia para residências e outros tipos de negócios ou setores produtivos, onde a energia solar também pode representar oportunidades de economia de recursos.

## Referências

AL-ALAWI, B. M.; BRADLEY, T. H. Total cost of ownership, payback, and consumer preference modeling of plug-in hybrid electric vehicles. **Applied Energy**, v. 1, n. 103, p. 488-506, 2013.

BELZOWSKI, B. M.; GREEN, P. Total cost of ownership: a gas versus diesel comparison. **University of Michigan Transportation Research Institute**, v. 1, n. 1, p. 1-25, 2013.

BICKERT, S. (2014). Financial measures for electric vehicles: supporting the integration of renewable energy in the mobility sector in Germany. **International Journal of Renewable Energy Development**, v. 3 n. 1, p. 45-53, 2014.

BIERMA, T.; WATERSTRAAT, F. **Total Cost of Ownership or Metalworking Fluids**. Illinois State university – Waste Management and Research Centre (WWRMC). Report RR-105, April 2004. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.404.6715&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em 13/04/2020.

COSER, T.; SOUZA, M. A. Custo total de uso e propriedade (TCO): Estudo de caso em uma indústria gráfica do Rio Grande do Sul (RS). In: Congresso Anpcont, IX, Curitiba-PR, 2015, **Anais...** Curitiba-PR, jun de 2015.

DAVID, J.S.; SCHUFF, D.; LOUIS, R.S. Managing Your It Total Cost Of Ownership. *Communications of The ACM*. V. 1, n. 45, 2002.

DOGAN, I.; AYDIN, N. Combining bayesian networks and total cost of ownership method for supplier selection analysis. **Computers & Industrial Engineering**, v. 4 n. 61, p. 1072-1085, 2011.

ELLRAM, L. Total cost of ownership: elements and implementation. **International Journal of Purchasing and Materials Management**, v. 29, n. 3, p. 2-11, 1993.

ELLRAM, L. M. A taxonomy of total cost of ownership models. **Journal of Business Logistics**, v.1, n.15, p. 171-192, 1994.

ELLRAM, L. M.; SIFERD, S. P. Purchasing: the cornerstone of the total cost of ownership concept. **Journal of Business Logistics**, v.1, n.14, p. 163-187, 1993.

ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil. **Revista do BNDES**, n.40, 2013.

FERRIN, B. G.; PLANK, R. E. Total cost of ownership models: an exploratory study. **Journal of Supply Chain Management**, v.2, n.38, p. 18-29, 2002.

GONEN, S.; YUKCU. S. The usage of total cost of ownership together with quality costing. **World of Accounting Science**, v.3, n.14, p. 65-86, 2012.

MALDONADO, T. V.; LONGO, L.; PAVÃO, J. A.; VOESE, S. B. Valeu a pena a compra? Análise do custo total de propriedade de veículos de passeio mais vendidos no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Custos, XXV, Vitória-ES, **Anais...** Vitória-ES, nov. 2018.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético nacional 2011**: ano Base 2010. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

MONTAÑO, M.; CARVALHO, A. F.; GOMES, C. S.; POLAZ, C. N. M.; JORDÃO, C. O.; DE SOUZA, M. P. Revisão da qualidade de estudos de impacto ambiental de pequenas centrais hidrelétricas. **HOLOS Environment**, v.14, n.1, p. 1- 14, 2014.

NURHADI, L.; BOREN, S.; NY, H. A sensitivity analysis of total cost of ownership for electric public bus transport systems in swedish medium sized cities. **Transportation Research Procedia**, v.1, n.3, p. 818-827, 2014.

PALMER, K.; TATEB, J.E.; WADUDC, Z.; NELLTHORPB, J. Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan. **Applied Energy**, v.1, n.209, p. 108-119, 2018.

PESSIN, R. L.; BERVIAN, C.; DE SOUZA, M. A.; LACERDA, D. P. Custo Total De Uso E Propriedade: Um Modelo Para Compra De Veículos De Transporte De Cargas. **Contabilidade Vista & Revista**, v.29, n.3, p. 50-72, 2018.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos, INPE, 2017.

PRABHAKAR, V. J.; SANDBORN, P. A part total cost of ownership model for long life cycle electronic systems. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v.5, n.25, p. 384-397, 2012.

ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v.7, n.2, p. 140-147, 2016.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Editora UFSC, 2004.

SACCANI, N.; PERONA, M.; BACCHETTI, A. The total cost of ownership of durable consumer goods: A conceptual model and an empirical application. **Int. J. Production Economics**, n. 183, p. 1–13, 2017.

SAKURAI, M. **Gerenciamento integrado de custos**. São Paulo: Atlas, 1997.

SANTOS, J. C. D.; GONÇALVES, M. A. Análise da substituição de um software proprietário por um software livre sob a ótica do custo total de propriedade: estudo de caso do setor de peças automobilísticas. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v.1, n.6, p. 39-60, 2006.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. D.; CAMARGO, I. D. T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 5, Brasília – DF, **Anais...** do Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Brasília, DF, Brasil, 2006.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais** (Dissertação de Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2012.

WU, G.; INDERBITZIN, A.; BENING, C. Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: a probabilistic analysis and projection across market segments. **Energy Policy**, n.80, v.1, 2015, p. 196-214, 2015.