

**EFEITO SUSTENTÁVEL DA APLICAÇÃO CONJUNTA
DAS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICA E TERMOSSOLAR.**

Tiago Araújo Rocha Nascimento

**“EFEITO SUSTENTÁVEL DA APLICAÇÃO CONJUNTA DAS
TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICA E TERMOSSOLAR.”**

Orientador

Prof. Dr. Paulo Pereira Martins Júnior

Coorientadora

Prof^a. Dr^a. Livia Cristina Pinto Dias

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título: “Mestre em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental – Área de Concentração: 90500008 - Ciências ambientais”

OURO PRETO - MG

2020

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

N244e Nascimento, Tiago Araujo Rocha .
Efeito sustentável da aplicação conjunta das tecnologias fotovoltaica e termossolar. [manuscrito] / Tiago Araujo Rocha Nascimento. - 2020.
90 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Pereira Martins Junior.
Coorientadora: Profa. Dra. Livia Cristina Pinto Dias.
Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental.

Área de Concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

1. Sustentabilidade. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3. Energia Termossolar. 4. Eficiência Energética. 5. Energia Solar. I. Dias, Livia Cristina Pinto. II. Martins Junior, Paulo Pereira. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 502.11

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Tiago Araújo Rocha Nascimento

Efeito Sustentável da Energia Solar na Aplicação Conjunta das Tecnologias Fotovoltaica e Termossolar

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Mestre

Aprovada em 11 de dezembro de 2020.

Membros da banca

Prof. Dr. Paulo Pereira Martins Junior - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

Profa. Dra. Lívia Cristina Pinto Dias- (Universidade Federal de Ouro Preto)

Prof. Dr. Gustavo Moura Nikolaus Pinto de Moura- (Universidade Federal de Ouro Preto)

Prof. Dr. Carlos Sidnei Coutinho - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Paulo Pereira Martins Junior, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 14/04/2021.



Documento assinado eletronicamente por **Kerley dos Santos Alves**, COORDENADOR(A) DE CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE SOCIOECONÔMICA AMBIENTAL, em 14/04/2021, às 22:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0159439** e o código CRC **2235746F**.

Dedico esse estudo a toda minha família,
minha esposa Tálita e filhos Pedro, Theo e Rafael
que sempre me apoiaram nos momentos mais importantes.
A meus pais e irmãos por acreditarem em um eterno sonhador.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu a oportunidade desta conquista, à Tálita, meu amor e eterna companheira, Pedro, Theo e Rafael principais motivadores, pela força, paciência e compreensão dos constantes momentos de ausência, a toda minha família pelas orações, a Eterna República Pif-Paf pela companhia sempre animada, aos amigos do mestrado com o sempre sensato choque de realidade e finalmente aos meus orientadores Professora Dra. Lívia Cristina Pinto Dias, pelos momentos de luz e o Professor Dr. Paulo Martins, pelo foco do trabalho. Que Deus lhes dê em dobro! O meu sincero e humilde: Muito Obrigado!

**“Viram a montanha de cedros,
Morada de deuses, trono de deusas:
Na face da montanha os cedros mostravam abundância,
Doce sua sombra, plena de deleite,
Enredada de espinhos, a acobertada floresta.”**

Epopéia de Gilgámesh – Ele que o abismo viu.

Sin-léqi- unnínni

Aproximadamente 5.000 ac.

RESUMO

O estudo aponta as vantagens econômicas, sociais e ambientais da aplicação conjunta do uso da tecnologia termossolar e fotovoltaica, apresentando conceitos de sustentabilidade e energia solar. O texto explora alguns modelos de sustentabilidade para ingressar no entendimento do uso das tecnologias solares, como ações sustentáveis e levanta referências bibliográficas dos históricos e contextos atuais do segmento de energia solar. A pesquisa exemplifica de forma prática o desenvolvimento aplicável de uma consultoria de eficiência energética, aplicada pela E3R (Eficiência em Engenharia de Energia Renovável), em uma planta de captação de leite, no qual, o resultado apontado pela consultoria é comentado demonstrando o efeito sustentável da integração das tecnologias termossolar e fotovoltaica. A economia gerada, somado ao menor impacto ambiental geram maior capacidade de fluxo de caixa para a empresa objeto da consultoria, que por sua vez ganha socialmente na preservação dos empregos. O resultado sugere a aplicação ampla de um modelo que contemple o uso conjunto das tecnologias. A conclusão do trabalho responde de forma clara e sucinta os questionamentos que foram objetos da pesquisa. Portanto, o uso conjunto das tecnologias termossolar e fotovoltaica se apresenta como uma ação sustentável, com efeitos sociais, ambientais e econômicos.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Fotovoltaico, Termossolar, Eficiência Energética.

ABSTRACT

The study points out as social and environmental benefits of the joint application of the use of solar and photovoltaic technology, concepts of sustainability and solar energy. The text explores some sustainability models to gain an understanding of the use of solar technologies, such as sustainable actions and bibliographic surveys of the historical and current contexts of the solar energy segment. A research practically exemplifies the applicable development of an efficiency consultancy, applied by E3R (Efficiency in Renewable Energy Engineering), in a milk collection plant, in which the result pointed out by the consultancy is commented demonstrating the sustainable effect of integration of solar and photovoltaic technologies. The savings generated, added to the lower environmental impact, generate greater cash flow capacity for the company object of the consultancy, which in turn gains socially in the preservation of jobs. The necessary result for a wide application of a model that contemplates the joint use of technologies. The conclusion of the work clearly and succinctly answers the questions that were the object of the research. Therefore, the joint use of solar and photovoltaic technologies presents itself as a sustainable action, with social, environmental and economic effects.

Keywords: Sustainability, Photovoltaic, Thermosolar, Energy Efficiency.

Lista de Figuras

<i>Figura 01 - Organograma de Rodas e Correlações entre energia e desenvolvimento sustentável.</i>	11
<i>Figura 02 - Cadeia de fontes de energia ou "Energia Plurifontes".</i>	13
<i>Figura 03 - Coletor Vitrificado de Saussure</i>	16
<i>Figura 04 – Coletor de Armazenamento Integrado (CAI)</i>	28
<i>Figura 05 – Exemplos de Coletores de Armazenamento de Calor por Convecção (ACC)</i>	29
<i>Figura 06 – Sistema Ativo Direto (Circulação Forçada)</i>	29
<i>Figura 07 – Placa Coletora Plana Vitrificada – (PCPV)</i>	30
<i>Figura 08 – Coletor Aberto (PCPNV)</i>	31
<i>Figura 09 – Aquecedor Solar de Boiler Acoplado em Tubo Evacuado (TEAAG)</i>	32
<i>Figura 10 – Perfil de Temperatura no Modelo (TEAAG)</i>	33
<i>Figura 11 – Coletor Solar de Tubo Evacuado U-Pipe (TEMUP)</i>	34
<i>Figura 12 – Coletor Solar de Tubo Evacuado Heat-Pipe (TEMHP)</i>	35
<i>Figura 13 – Coletor Tubo Evacuado Modular All-Glass (TEMAG)</i>	36
<i>Figura 14 – Usina Fotovoltaica 60kWp.</i>	44
<i>Figura 15 – Usina Fotovoltaica Município de Antônio Dias - MG</i>	45
<i>Figura 16 – Benefícios da Energia Fotovoltaica</i>	47
<i>Figura 17 – Cenário Exclusivo Fotovoltaico x Cenário Termossolar & Fotovoltaico</i>	63
<i>Figura 18 – Instalação Conjugada Termossolar e Fotovoltaica.</i>	71
<i>Figura 19 - Oferta de Energia por Fonte e Consumo Energético Mundial Anual em Escala</i>	72

Lista de Gráficos

<i>Gráfico 01 - A tendência decrescente entre a razão da oferta x consumo (em 10³ tep)</i>	1
<i>Gráfico 02 - Variação do PIB x Consumo residencial em relação ao ano anterior</i>	2
<i>Gráfico 03 - Adições Anuais de Capacidade Fotovoltaica e Projeções Futuras</i>	4
<i>Gráfico 04 - Capacidade Instalada de Coletores Termossolares no Mundo</i>	20
<i>Gráfico 05 - Importação de Coletores Solares em Quantidade e Valor por Ano.</i>	21
<i>Gráfico 06 – Consumo de Energia Elétrica por Equipamento Residencial</i>	22
<i>Gráfico 07 - Evolução das Tarifas de Energia Elétrica Sem Considerar Impostos</i>	23
<i>Gráfico 08 - Número de Domicílios Com Sistema de Aquecimento Solar (SAS) em Mil Unidades</i>	24
<i>Gráfico 09 - Evolução da Potência Instalada da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil</i>	39
<i>Gráfico 10 - Relação em Escala da Potência de Usinas Fotovoltaicas Outorgadas pela ANEEL.</i>	40
<i>Gráfico 11 - Evolução dos Preços nos Leilões de Energia por Tipo de Fonte em R\$/MWh</i>	41
<i>Gráfico 12 – Potência Instalada em Geração Fotovoltaica (MW)</i>	43
<i>Gráfico 13 – Evolução da Geração Centralizada em 2020 (GWh)</i>	43
<i>Gráfico 14 – Capacidade Instalada em Geração Centralizada (MW)</i>	44
<i>Gráfico 15 – Evolução da Potência Instalada em Geração Distribuída e Unidades Consumidoras que Receberam Crédito.</i>	46
<i>Gráfico 16 – Matriz de Consumo</i>	59
<i>Gráfico 17 – Fluxo de Caixa do Sistema Conjugado.</i>	66

Lista de Tabelas

<i>Tabela 01 – Importação de Aquecedores de Água da China.</i>	22
<i>Tabela 02 - Potenciais Setores de Aplicação Termossolar</i>	37
<i>Tabela 03 – Tipos de Painéis Fotovoltaicos, Composição e Eficiência Média.</i>	38
<i>Tabela 04 - Quadro com as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD)</i>	42
<i>Tabela 05 - Ata De Diagnóstico Eficiência Energética</i>	53
<i>Tabela 06 - Fluxograma de Processo</i>	54
<i>Tabela 07 – Consumo da Unidade de Captação do Leite</i>	57
<i>Tabela 08 – Histórico de Consumo da Conta de Energia</i>	58
<i>Tabela 09 – Curva Decrescente do Consumo da Unidade de Captação de Leite</i>	59
<i>Tabela 10 – Cálculo da Fração Solar</i>	60
<i>Tabela 11 – Demanda Necessária a Incrementar</i>	61
<i>Tabela 12 – Atendimento da Demanda com o Termossolar</i>	61
<i>Tabela 13 – Oferta do Sistema Conjugado</i>	62
<i>Tabela 14 – Economia do Sistema Conjugado.</i>	62
<i>Tabela 15 – Memória de Cálculo do Consumo do Chuveiro</i>	70

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVO	8
2.1.	OBJETIVO GERAL	8
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1.	O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE	9
3.1.1.	SUSTENTABILIDADE E ENERGIA.....	11
3.1.2.	PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL E SEUS MODELOS.....	13
3.2.	TECNOLOGIA TERMOSSOLAR.....	16
3.2.1.	SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	28
3.3.	TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA	38
4.	METODOLOGIA	48
5.	DESENVOLVIMENTO – DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE UMA PLANTA DE ARMAZENAMENTO DE LEITE.	51
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
6.1.	OS EFEITOS SOCIOECONÔMICOS AMBIENTAIS DA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA TERMOSSOLAR NA SOCIEDADE.....	67
6.2.	AS VANTAGENS DE PROJETOS CONJUGADOS: TERMOSSOLAR & FOTOVOLTAICO	69
7.	CONCLUSÃO	74
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	76

1. INTRODUÇÃO

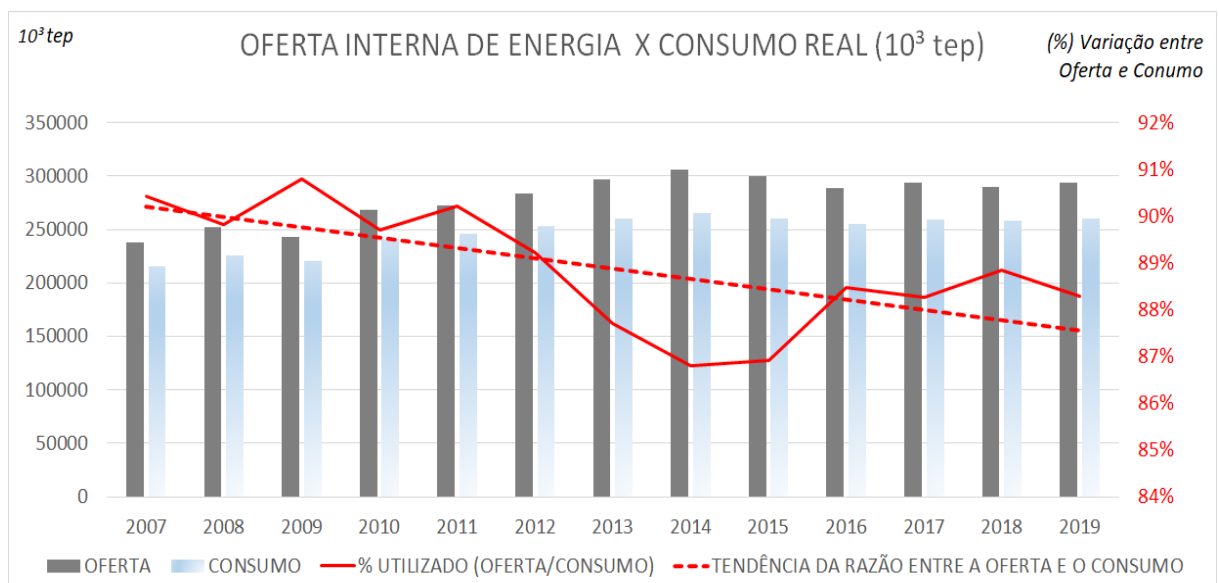
O desenvolvimento econômico de uma nação depende diretamente da sua oferta de energia e o consumo per capita. Potencialmente, quanto maior o consumo conquistado com o incremento de novas tecnologias e avanços nos setores agrícolas e industriais, mais próspero é o indivíduo (MARTINS *et al.*, 2008).

Goldemberg (1998) afirmou que o crescimento do consumo mundial de energia foi de 5,18% ao ano na década de 70 e esse autor estimou que a demanda por energia duplicaria em um período de aproximadamente 17 anos motivada pela melhoria das condições socioeconômicas dos países em desenvolvimento.

Após 15 anos, Goldemberg e Villanueva (2003) revisaram a oferta mundial de energia e concluíram novamente que ela não irá atender à crescente demanda energética, principalmente, se a matriz energética for baseada em combustíveis fósseis.

Hoje, observa-se não só um crescimento da demanda de energia na ordem de 5% ao ano, como também, é observado uma necessidade de duplicar a oferta de energia mundial, em um período menor do que o estimado por Goldemberg (1998) há 30 anos (IEA, 2017) tornando as conclusões de Goldemberg e Villanueva (2003) cada vez mais prováveis, conforme demonstrado no gráfico 01, a seguir.

Gráfico 01 - A tendência decrescente entre a razão da oferta x consumo (em 10³ tep)



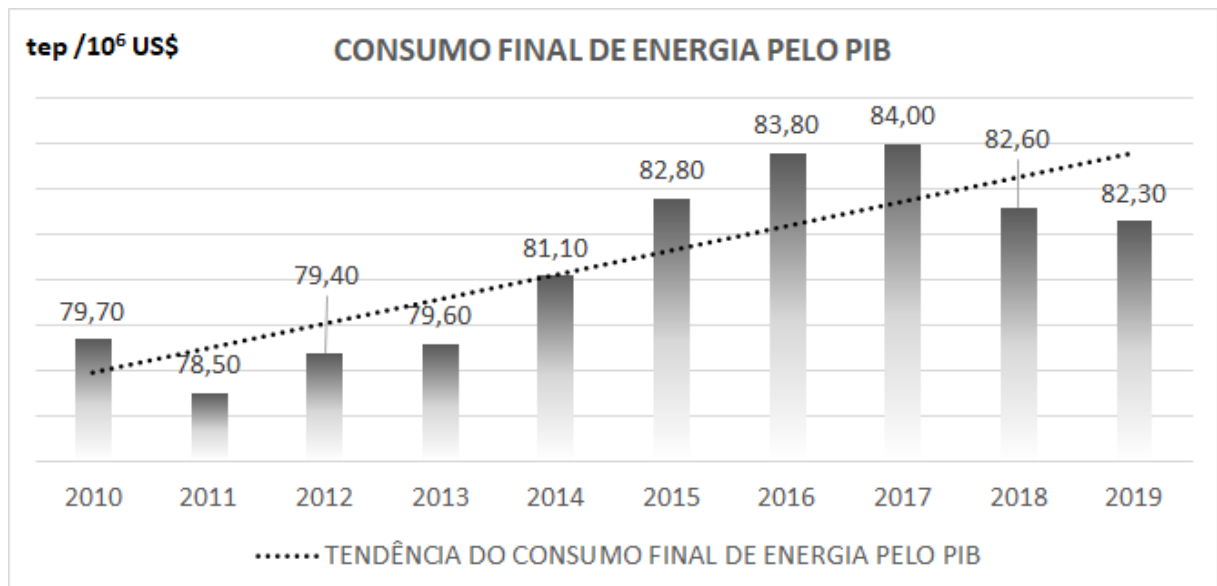
Fonte: Balanço Energético Nacional - (EPE, 2020a)(adaptado)

No cenário de geração de energia elétrica mundial, o Brasil se destaca por se desenvolver utilizando principalmente energia renovável. De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2020 (EPE, 2020a), a energia renovável compôs em 2019, 83% da matriz elétrica do país, sendo que, 64,9% foi proveniente de hidroelétricas. Além da hidroeletricidade, destacam-se também a energia da biomassa e a energia eólica, respectivamente 8,4% e 8,6% da matriz elétrica.

A energia solar fotovoltaica, contribui em torno de 1% da matriz elétrica, no entanto, é necessário considerar seu crescimento avultado de 2015 a 2019, quando evolui de 20 GWh (BEN, 2017) de geração em micro e mini geração distribuídas para 1.659GWh, representando um crescimento de 8.295% no período (BEN, 2020).

O crescimento econômico necessita de oferta de energia elétrica. Para demonstrar isso, no Gráfico 2 está representado o consumo final de energia em toneladas equivalentes de petróleo (tep) no Brasil em razão do PIB (Produto Interno Bruto) em dólares (US\$) de 2010 a 2019. Percebe-se na análise do gráfico, a crescente tendência do consumo sobre o PIB, ou seja, estamos consumindo mais em relação ao que produzimos.

Gráfico 02 - Variação do PIB x Consumo residencial em relação ao ano anterior



Fonte: Balanço Energético Nacional -(EPE, 2020a)(adaptado)

A análise de dados do Balanço Energético Nacional de 2020, revela que os resultados de PIB estão diretamente correlacionados com o consumo de energia dos domicílios. Assim, para garantir a segurança energética do país em caso de

crescimento econômico, é importante incentivar o uso de energias alternativas e maior eficiência do consumo de energia nos domicílios.

Um dos aspectos que devem ser considerados ao propor alternativas para atender a alta demanda por energia é a segurança energética. Consiste em garantir a produção, transmissão e distribuição de energia, avaliando potenciais cenários de ruptura da oferta, gerando planos de contingência no intuito de reduzir impactos (SILVA; RODRIGUES, 2015).

O Conceito de segurança energética surgiu com a crise do petróleo de 1973 que de acordo com NUNES (2013), gerou um forte impacto negativo no desenvolvimento das maiores economias mundiais, em virtude de suas respectivas dependências do Petróleo.

A diversificação da matriz poderia gerar maior produção de energia e assim garantir maior segurança energética (PAIVA; CASTRO; LIMA, 2017), sem o efeito negativo dos impactos ambientais oriundos das fontes de energia tradicionalmente utilizadas no Brasil.

As hidrelétricas responsáveis pelo maior atendimento na matriz energética, geram um impacto significativo no aquecimento global. Principalmente, nos anos iniciais, em virtude do alagamento da vegetação na formação do lago do reservatório, onde ocorre a decomposição do carbono do solo e da vegetação original inundadas com a represa. O acréscimo extraordinário de plantas aquáticas (macrófitas) devido ao ambiente favorável, potencializa o processo. Ao analisarmos a usina de Belo Monte, por exemplo, a emissão de gases provenientes deste processo, levaria em torno de 41 anos para mitigar a emissão gerada, se considerássemos a mesma geração com combustíveis fósseis (FEARNSIDE, 2015).

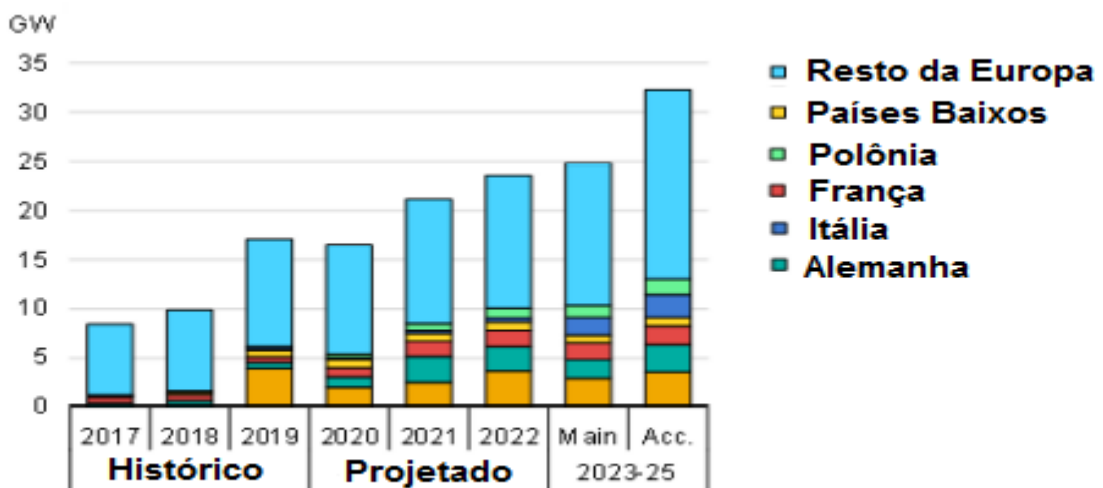
A segunda maior fonte de oferta interna de energia elétrica no País é o gás natural, que compreende 9,3% da matriz elétrica (EPE, 2020a). No total, combustíveis fósseis (gás natural, derivados de petróleo, carvão mineral e nuclear) são responsáveis pela geração de 15,3% da energia elétrica no Brasil. No entanto, de acordo com Silva *et. al.*(2008), ecossistemas saudáveis possuem uma lenta, porém, equilibrada velocidade de alteração, em virtude da menor taxa de renovação e aumento da diversidade. Assim, quando se faz uso em grande escala de uma energia exossomática, como o petróleo, temos o efeito oposto. O que se observa é uma aceleração da taxa de alteração que leva a redução da diversidade no planeta em

decorrência dos efeitos da poluição, como emissão de gases efeito estufa e derramamento de óleo em ecossistemas marinhos.

Devido a esses impactos ambientais negativos, novas agendas ambientais abrem cada vez mais espaço para meios alternativos e mais sustentáveis de geração de energia renovável.

Entre as alternativas de energia mais sustentáveis está a energia solar, que é limpa, gratuita e inesgotável. O Brasil se revela favorecido em relação à energia solar por ser um país tropical (TIBA, 2000). As baixas latitudes favorecem a insolação solar no país, que tem bons índices de radiação, aproximadamente entre 3000 a 6500 Wh/m².dia, valores superiores aos de países europeus, entre 1350 a 5500 Wh/m².dia (BANCO MUNDIAL, 2019). Apesar de possuir menores índices de radiação, os países europeus possuem percentual das suas matrizes energéticas com fonte de energia solar consideráveis, conforme gráfico 03 do IEA 2020 a seguir, principalmente, por terem uma diretiva da União Europeia de alcançarem 32% da matriz energética até 2030.

Gráfico 03 - Adições Anuais de Capacidade Fotovoltaica e Projeções Futuras



Fonte: (IEA, 2020)(adaptado)

A energia solar pode ser aproveitada de várias formas. Na verdade, toda a vida e manutenção dos seres vivos e ecossistemas na Terra depende da energia solar. No que tange as formas para utilizar essa energia para as atividades humanas, duas se destacam, a fotovoltaica e a termossolar.

A energia fotovoltaica transforma a energia solar em energia elétrica por meio dos módulos fotovoltaicos e o seu uso está em expansão exponencial no mundo. Em 2005, a potência instalada de energia fotovoltaica era de 5,1 GW e essa potência saltou para 40 GW em 2010, 228 GW em 2015 e 627 GW em 2019, de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2020).

No Brasil, a energia solar é responsável por 0,2% da matriz energética, que inclui os consumíveis de energia, como diesel e gasolina nos transportes. Acompanhando a tendência mundial, a potência instalada de energia solar fotovoltaica no Brasil saltou de 33,3 MW para 4.635 MW, resultando em um incremento de potência 139 vezes maior, entre 2015 e 2019, incluindo, além da geração distribuída já citado, os serviços públicos e os autoprodutores (EPE, 2020a). Impulsionado principalmente por mecanismos de incentivo e regulação sobre a energia fotovoltaica, como as Resoluções Normativas nº 482/2012 (ANEEL, 2012) e nº 687/2015 (ANEEL, 2015) da Agência Nacional Energia Elétrica. Mesmo com esse crescimento, o Brasil não figura entre os países que mais utilizam essa fonte de energia – o país com maior potencial instalado é a China com aproximadamente 204,7 GW em 2019, 100 vezes maior que a capacidade instalada atualmente no Brasil (REN21, 2020).

O Brasil também se distancia do maior usuário mundial da tecnologia termossolar. Atualmente, a China detém 70,2% do percentual da capacidade instalada dos coletores termossolares para aquecimento do planeta, sendo sucedido pela Turquia (3,7%), Estado Unidos (3,6%) e Alemanha (2,8%) (REN21, 2020). O Brasil é o quinto país com maior percentual da capacidade instalada em coletores termossolares (2,4%) (REN21, 2020). A China não só possui a maior percentual da capacidade instalada como também detém grande parte da tecnologia termossolar, com 73% das fábricas dos coletores instaladas no país.

A tecnologia termossolar é diferente da fotovoltaica, pois os coletores não geram energia elétrica. De acordo com Duffie (DUFFIE, J. A.; BECKMAN, 2006), um coletor solar é parecido com um trocador de calor, já que transforma a energia solar em calor. Porém, o coletor solar difere dos trocadores por não transferir calor de fluido para fluido, e sim, de uma fonte distante de energia radiante para o fluido.

A energia termossolar para aquecimento de água para banho é uma saída econômica, ambiental e sustentável. Martins et al. (2004) afirma que a qualidade da energia gerada pelos coletores termossolar tem baixo impacto ambiental, baixo custo e traz muitos benefícios, principalmente quando inserida em locais remotos, sem

acesso à energia elétrica. Rodrigues & Matajs (2004) revelam que os chuveiros elétricos representam 18% da demanda de pico de energia, aumentando consideravelmente o custo de manutenção da transmissão e distribuição das concessionárias no Brasil. Rodrigues & Matajs (2004) ainda elucidam que as mais de 2000 horas de insolação/ano no Brasil poderiam gerar 50 mil vezes o consumo nacional, gerando 30 mil empregos diretos para cada milhão de metros quadrados instalado.

O Brasil, como país tropical, tem forte potencial para aquecedores solares, porém, é um dos poucos países no Mundo que usa chuveiro elétrico na maioria dos domicílios.

A instalação de um S.A.S. (Sistema de Aquecimento Solar) tem efeito financeiro, social e ambiental. O efeito financeiro é a economia gerada pelo sistema, reduzindo a despesa do usuário. O apelo social se faz pela geração de emprego impulsionada pelo avanço do segmento no mercado. Finalmente, o SAS elimina de forma sustentável o consumo de energia elétrica, principalmente no horário de pico, onde o custo da energia para a concessionária tem maior valor agregado.

De acordo com Duffie (2006), os coletores solares podem ser caracterizados hierarquicamente por meio da sua eficiência. A saída útil em termos da radiação solar disponível e as perdas podem ser dimensionadas por meio de equações. O ganho útil é a diferença (positiva) entre a energia absorvida solar e as perdas térmicas, gerando um balanço energético. As equações podem ser levantadas por meio de análises de campo, coletando dados e estabelecendo parâmetros ou por simulações, parametrizando valores de referência da literatura a respeito.

As simulações servem para construir cenários, como o estudo de Carvalho *et. al.* (2017) que simulou os efeitos das tecnologias fotovoltaicas e termossolar no atendimento de 10 perfis residenciais em Minas Gerais. O estudo de Carvalho constatou nas simulações, que as famílias de baixa renda possuem maior retorno financeiro com investimentos em aquecimento solar, enquanto, famílias de alta renda, teriam maior benefício com tecnologias fotovoltaicas.

Os investimentos em energias renováveis em 2019 pelos países em desenvolvimento, em torno de US\$152,2 bilhões de dólares, superaram em 17% os países desenvolvidos, próximos dos US\$130 bilhões de dólares. O valor investido pelos países em desenvolvimento expressa uma tendência de crescimento sustentável entre eles. O complexo de tecnologias conjuntas termossolar (700MW) e

fotovoltaica (250MW) Al Maktoum IV em Dubai é um bom exemplo, com investimentos de US\$ 4,3 bilhões de dólares(MCCRONE et al., 2020).

O presente estudo analisou uma consultoria de eficiência energética realizada pela empresa E3R – energias Renováveis, revelando a economia gerada, pela redução do consumo de energia elétrica, por meio de instalações conjuntas de sistemas fotovoltaicos e termossolares em uma planta de captação de leite, no município de Araxá. Portanto, a pesquisa vai identificar os ganhos econômicos, sociais e ambientais desta inovadora convergência de tecnologias no segmento industrial e propõe a discussão do efeito das instalações conjuntas no segmento residencial.

2. OBJETIVO

2.1.OBJETIVO GERAL

O objetivo do estudo é conhecer os efeitos socioeconômicos e ambientais, ou seja, as consequências sustentáveis da aplicação concomitante das tecnologias fotovoltaicas e termossolares.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ressaltar a influência social da aplicação mista das tecnologias fotovoltaicas e termossolar, como geração e descentralização de novos empregos;
- Levantar a economia real do emprego das instalações, revelando o melhor custo-benefício dos sistemas agregados;
- Apontar a mitigação ambiental proveniente da redução da demanda de energia a partir da geração própria dos projetos tautócronos;
- Apresentar o histórico evolutivo e alguns modelos atuais da tecnologia termossolar;
- Apresentar a tecnologia Fotovoltaica e seu crescimento no Brasil;
- Reportar o resultado da consultoria de eficiência energética aplicado pela empresa E3R Energias Renováveis no intuito de apresentar um desenvolvimento aplicável prático que justificasse o estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica tem o compromisso de elucidar conceitos pertinentes à boa interpretação do estudo, de forma sucinta e prática, sem pretensão de aprofundar em abordagens complexas. Porém, nada impede que o leitor mais interessado faça uso das referências aqui expostas para maiores esclarecimentos sobre respectivos temas.

Os conceitos tratados neste estudo levam em consideração a definição de sustentabilidade, que por sua vez, merece uma pesquisa dedicada exclusivamente ao tema, mas de forma mais direta possível iremos caracterizá-lo.

A explicação da tecnologia termossolar, com sua evolução histórica, retratando os modelos de placas solares e tipos de instalação, junto com seu histórico de uso. As leis que buscam incentivar a tecnologia, também foram reportadas na revisão bibliográfica.

A revisão também busca analisar a tecnologia fotovoltaica, que mesmo sofrendo os efeitos da pandemia em 2020, com o aumento de 46% da taxa cambial do dólar de janeiro a setembro, apresentou um crescimento significativo nas importações de módulos fotovoltaicos, em torno de 93% no primeiro semestre, em relação à 2019, de acordo com o estudo de mercado da Greener (2020).

3.1. O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE

O conceito de sustentabilidade agrega uma integração de disciplinas que formam uma rede de eventos complexos, que necessitam de avaliações integradas para auxiliar na tomada de decisão e com intuito de convergir em ações assertivas com efeitos prolongados (GIBSON, 2006). Essa interdisciplinaridade é essencial para problemas multidimensionais (SERRAT; CAMPOS; GERAIS, 2010).

Os efeitos socioeconômicos em consonância com iniciativas ambientais, geram uma interligação de características que dominam a sustentabilidade. Em razão dessa interface de eventos, a grande maioria das avaliações voltadas para a sustentabilidade consideram os aspectos sociais, econômicas e ambientais em focos separados. Dessa forma, cria-se uma dificuldade na integração das abordagens em um conceito único e, assim, essa tratativa gera uma disparidade nas avaliações de controle ambiental (FILHO; SOUZA; PEREIRA, 2004).

A abordagem segmentada dos aspectos sociais, econômicos e ambientais é proveniente da formação específica dos especialistas nas respectivas áreas de conhecimento, na obtenção de dados em separado nas três categorias e, principalmente, na divisão das áreas nas políticas governamentais. A justificativa deste estudo em apontar vantagens sociais, econômicas e ambientais reportam a necessidade de acrescentar concomitante estes temas e o conceito de sustentabilidade aos sistemas conjugados.

A abordagem de Gibson (2006) invoca a preocupação com a ausência de integração nos pilares social, econômico e ambiental, que servem de base para as avaliações sustentáveis. Os processos de avaliação da sustentabilidade de um sistema devem pressupor uma interatividade de causa efeito, levantando pontos positivos de cada pilar, principalmente o efeito benéfico da correlação entre os pilares, considerando ciclos adaptativos que retornem respostas sustentáveis estrategicamente.

A maior dificuldade em projetar correlações está na complexidade de cada pilar que, por si só, reportam um número considerável de variáveis. Contudo, uma visão simples seria estabelecer em cada um dos pilares, tratativas segmentadas de cada setor, ou seja, dentro do social, buscar características econômicas e ambientais, dentro do ambiental, buscar características econômicas e sociais e, dentro do econômico, buscar as características ambientais e sociais e depois agrupar os temas inter-relacionados.

O estudo sobre o uso da energia solar aponta a pretensão de estabelecer parâmetros de mitigação do impacto ambiental, sugere alternativas para melhorar distribuição de renda e geração de empregos no lado social e finalmente expõe possibilidades de economia real, como contribuição financeira, fechando o tripé sustentabilidade social, econômica e ambiental.

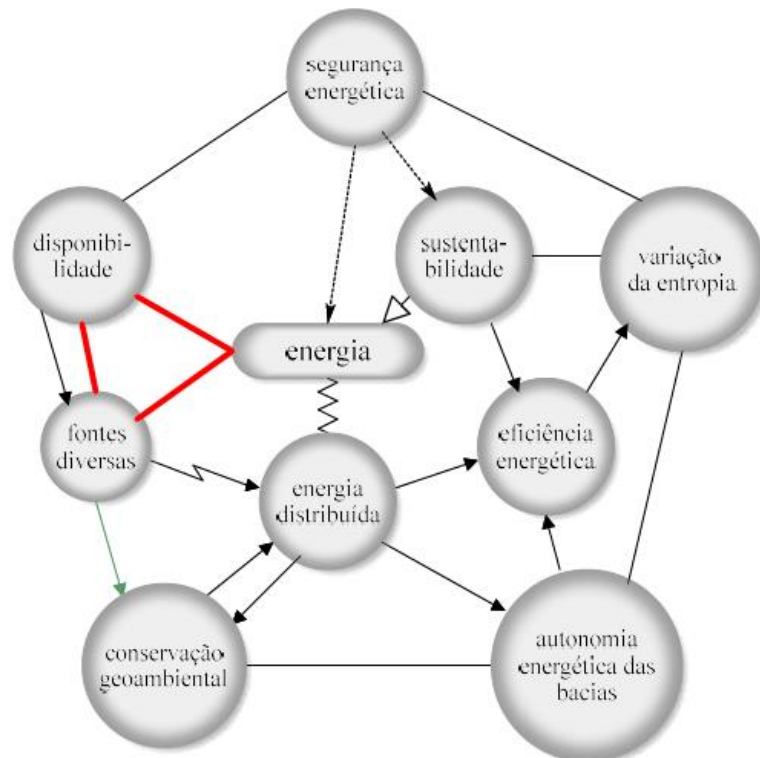
Por outro lado, a ausência de uma análise interdependente contribui para o desequilíbrio sustentável e favorece a política de compensações, que precisa ser considerada como último recurso mesmo que necessária. A energia solar revela vantagem significativa neste contexto, pois resulta em compensações mínimas. Assim, ao considerar o uso da energia solar é possível agrupar de forma sólida os três pilares em uma relação convergente que agrega ganho conjunto e interdependente.

3.1.1. SUSTENTABILIDADE E ENERGIA

Abordar o tema sustentabilidade é um grande desafio, pois envolve conceitos diversos e interrelacionados. O objetivo da abordagem se faz necessária em virtude do objetivo do estudo de elencar as vantagens sociais, ambientais e econômicas da implantação da tecnologia conjunta na sociedade. A soma dos efeitos provenientes das vantagens gera um cenário que podemos denominar como sustentável. Porém, antes de simplesmente definir o conceito de sustentabilidade, é primordial introduzir a dificuldade em estabelecer um plano sustentável, para que o conceito tenha um real sentido.

A sustentabilidade na energia, de acordo com Martins Jr. (2017), é parte integrante de uma rede interligada de eventos, que se complementam desde a segurança do fornecimento, passando pela conservação ambiental, seguindo para autonomia energética. A eficiência energética, a produção de energia distribuída, o uso maximizado de fontes diversas, a conservação ambiental e finalmente a sustentabilidade são fundamentos coordenados pela autonomia energética, conforme exposto na Figura 1.

Figura 01 - Organograma de Rodas e Correlações entre energia e desenvolvimento sustentável.



Fonte: (MARTINS JR, 2017)

A correlação dos conceitos envolvidos no desenvolvimento sustentável descritos na Figura 1 exibe a complexidade do tema. O entendimento que tudo está interligado é essencial para a melhor análise dos conceitos.

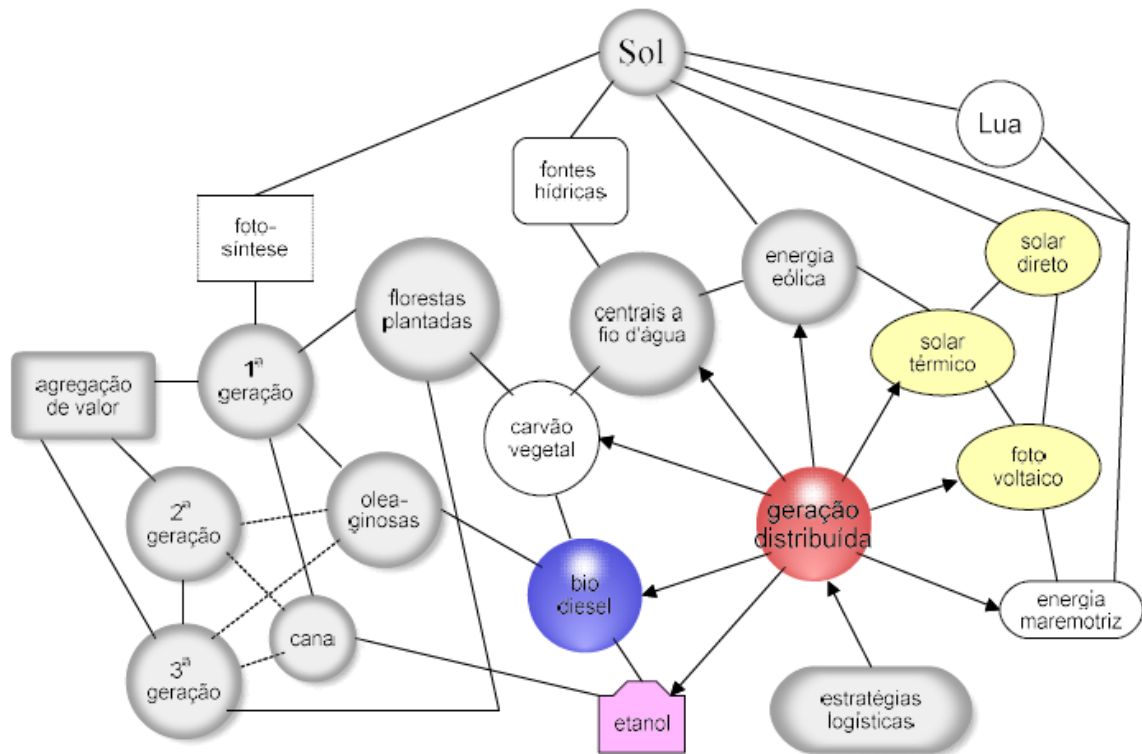
A energia (ou geração) distribuída, como um dos agentes centrais do processo, revela a importância deste conceito na busca de um desenvolvimento sustentável. A análise detalhada do fundamento é bem definida por Paulo Jr. (2017), quando escreve:

“De todas as questões para fomento e gestão de matriz integrada aquela que é central diz respeito à política de energia distribuída. Por certo, sem que haja decisão governamental nacional essa condição torna-se inviável de ser tomada em bloco. Pode-se, todavia, adotar forma progressiva pelos grupos industriais e agrícolas se começarem a produzir energia para uso próprio e assim começa-se, de fato, um processo espontâneo que permitirá progressivamente criar um sistema de produção distribuída.”

A geração distribuída é permitida no Brasil pela Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, que a define como a presença de uma central geradora de energia elétrica conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, ou seja, instalações locais. Os sistemas conjuntos, compostos por sistemas fotovoltaicos conectados na rede e os sistemas termossolares, também se caracterizam por serem, na sua grande parte, instalações locais e são muitos os cenários que enquadram estes sistemas agregados como sustentáveis.

Para entender melhor a sustentabilidade dos sistemas concomitantes é preciso analisar a cadeia de fontes de energia, denominada por Paulo Jr. (2017) como “Energia Plurifontes”, que pode ser mais bem compreendido no organograma da Figura 2.

Figura 02 - Cadeia de fontes de energia ou "Energia Plurifontes".



Fonte: Martins Jr (2017)

A energia solar, origem primária de algumas fontes de energia, age diretamente nos sistemas híbridos, fotovoltaico e termossolar, com grande capacidade de geração instantânea por área utilizada. A eficiência das tecnologias agrupadas em transformar a energia solar em energia elétrica e térmica é grande em relação às outras fontes e a capacidade de geração local atende perfeitamente o conceito de geração distribuída.

3.1.2. PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL E SEUS MODELOS

O conhecimento do passado é fundamental para o entendimento do presente e o planejamento do futuro. O estudo aprofundado das relações entre o homem e o meio ambiente no decorrer da história nos revela abordagens assertivas no trato da terra e no uso do Sol. Facilitam o desenvolvimento de programas sustentáveis e o planejamento de estratégias futuras voltadas para a melhor sinergia entre o homem e a natureza.

O processo de aprendizado do contexto histórico até os dias atuais, pode ser definido por uma metodologia que segmenta as características em tipos de aprendizagem e tipos de pesquisa (DEARING, 2006). O estudo da energia solar como combustível sustentável nos leva a um novo patamar de pesquisa.

O desenvolvimento sustentável necessita de temas diversos que se entrelaçam e geram sua agenda. Em 30 anos de evolução de modelos de planejamento ambiental, ainda não temos um modelo confiável em virtude da complexidade das características que envolvem um planejamento ambiental (SELMAN, 1999). O planejamento ambiental adequado, além de atender uma demanda sustentável, pode auxiliar outros setores, como o turismo (MORA; ANTONELLO, 2010), o plano diretor nacional da exploração de campos petrolíferos (VILANI; MACHADO, 2010) e a expansão da matriz energética, principalmente se considerar o uso da energia solar no planejamento.

Os atuais modelos de desenvolvimento apontam para um futuro ambientalmente caótico, o que gerou interesse significativo no estudo da sustentabilidade. O planejamento estratégico voltado para a sustentabilidade é realizado em grande maioria a curto prazo. No entanto, mesmo as ações de curto prazo, se bem planejadas podem produzir resultados de longo prazo.

Este estudo se mostra um bom exemplo para explicar essa tratativa. Se o governo criasse um modelo sustentável de curto prazo para instalações conjuntas fotovoltaicas e termossolares na geração distribuída, a economia gerada lhe pouparia a construção futura de grandes hidrelétricas.

Existem diversos modelos de planejamento, como o planejamento abrangente racional, teoria do planejamento neomarxista, planejamento participativo e comunicativo, planejamento de defesa dos direitos, teoria dos movimentos sociais urbanos e institucionalismo (LIFSET; GRAEDEL, 1997) . Todos estes modelos podem se associar à interpretação sustentável do uso da energia solar, reduzindo o uso de fontes de maior impacto na natureza.

O planejamento ambiental adequado e sustentável precisa levar em consideração as seguintes premissas: estudos de longo prazo, visão holística, abordagem analítica, crítica às simulações e modelos atuais de crescimento, importância do lugar e proatividade na busca de um modelo sustentável (LIFSET; GRAEDEL, 1997) . É fundamental incorporar no planejamento de sustentabilidade, ações que geram ganhos sociais, econômicos e ambientais.

A perspectiva de longo prazo é muito pouco significativa ao se comparar com planejamentos de 5 a 50 anos. São fundamentais expectativas mais longas que levam em consideração uma faixa temporal em torno de 100 anos, para que tenhamos um horizonte viável, com um foco mais centrado nos objetivos e diretrizes formadas pelo planejamento. A dificuldade real de planejamentos de tão longo prazo se mostra na incerteza do crescimento, amparado mundialmente em combustíveis fósseis, que possuem tempo de vida útil menor que o período do planejamento. A tendência mundial de reverter a matriz de consumo de combustíveis fósseis para tecnologias renováveis pode ser encarada como uma tentativa de se planejar a longo prazo.

A visão holística é fundamental para interagir com as interfaces de vários temas diversos e concatenar de forma produtiva a relação entre os assuntos. A abordagem analítica busca a aceitação de limites, planejar um futuro com menor degradação, limitando produção, sem reduzir atendimento, evitar desperdícios e retrabalhos. O sucesso dessa visão depende muito da melhoria da produtividade e principalmente do uso de energias renováveis, como a solar, na matriz dos países mais industrializados.

O desenvolvimento local é um conceito crucial para a sustentabilidade, evitando dessa forma, custos logísticos, com demandas específicas atendidas *in locu*. A geração de energia de forma distribuída com o sistema conjunto, fotovoltaico e termossolar auxilia consideravelmente esse conceito.

A sociedade é responsável pelo melhor desempenho do planejamento sustentável, empreendendo ideias inovadoras, com inovação e proatividade. Não há necessidade de que o planejamento se limite a um só modelo (LIFSET; GRAEDEL, 1997) e sim abrace todos os modelos de forma inter-relacionada, envolvendo todos os conceitos.

Pode-se ter um modelo baseado no passado, que seja racional em um momento, neomarxista concomitante com o modelo participativo e comunicativo em outro momento do mesmo planejamento. Ou seja, o uso de um bom modelo de planejamento seria a integração dos pontos positivos de todos os modelos levando em consideração a curva de aprendizado de cada um com as suas particularidades de implantação, aprendendo com os resultados já obtidos de todos esses modelos.

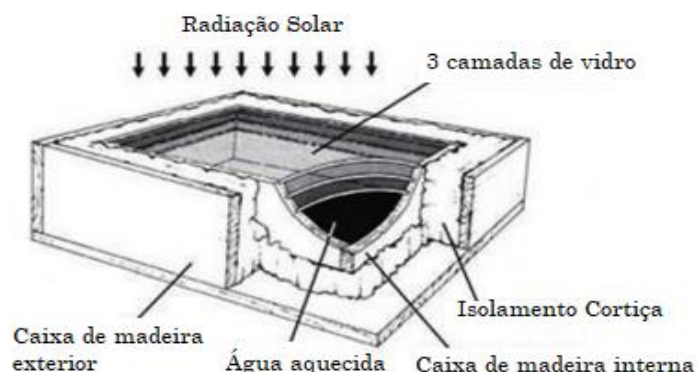
3.2. TECNOLOGIA TERMOSSOLAR

O Sol é a principal fonte de energia para o planeta, sendo condição primordial para existência de vida na Terra. Desde os primórdios da humanidade o homem utiliza a energia solar, mesmo que sem intenção. Os primeiros registros que relatam a ação do indivíduo usando a energia solar remontam ao século VII A.C. Conforme Kalogirou (2004), o homem utilizou uma lupa para concentrar os raios do Sol com objetivo de fazer fogo. Desde então, existem relatos, como no século III A.C, em que espelhos de gregos e romanos eram usados para iluminar as tochas religiosas.

Arquimedes, cientista grego, no século II A.C, usava escudos côncavos de bronze com alto poder reflexivo para focar a luz solar nos navios de madeira do Império Romano, que sitiavam Siracusa, ateando fogo nos mesmos. Durante o século VI D.C., em Roma, as pessoas construíam casas, edifícios e prédios públicos com quartos abertos chamados “*sunrooms*” e a importância destes quartos para romanos era tamanha que o governo criou a lei "o direito ao Sol" que foi inserido ao Código Justiniano para garantir o acesso individual ao Sol. Seis séculos depois (por volta do ano de 1200 D.C.), os Pueblo Anasazi, ancestrais do povo norte-americano, construíam fendas em suas moradias para permitir que o Sol de inverno aquecesse o ambiente.

O primeiro coletor solar do mundo foi criado por um cientista suíço chamado Horace de Saussure, um dos naturalistas mais importantes da Europa no período. Foi ele que documentou pela primeira vez, em 1767, o estudo da capacidade do Sol de aquecer a água. Esse cientista fez várias experiências com uma caixa revestida com isolamento térmico, que ficou conhecida como forno Solar (Figura 3).

Figura 03 - Coletor Vitrificado de Saussure



Fonte: Kalogirou (2004)

No século XVIII, já era notório a capacidade da luz solar adentrar em ambientes com janelas de vidro e aumentar a temperatura do lugar, principalmente pelo aumento significativo do uso do vidro em construções nesta época, como retrata Horace de Saussure:

"É um fato conhecido, e um fato que provavelmente tem sido conhecida há muito tempo, que um quarto, um carro, ou qualquer outro lugar é mais quente quando os raios do Sol atravessam o vidro."

Saussure construiu com cinco paredes espessas uma estufa em miniatura, montou a partir de cinco caixas quadradas de vidro, diminuindo no tamanho de 12 polegadas em um lado por 6 polegadas de altura e 4 cm em um lado por 2 polegadas de altura. Para que as caixas pudessem ser empilhadas uma sobre a outra e colocadas sobre uma mesa preta, ele cortou a base das 5 caixas. Expôs o equipamento ao Sol, fazendo com que os raios solares entrassem nas tampas de vidro das caixas sobrepostas sempre de forma perpendicular. Depois de um certo tempo de exposição, conseguiu registrar no fundo da caixa interior uma temperatura de 87,5°C. Sem saber ao certo como o Sol poderia ter aumentado a temperatura dentro da estufa, Saussure comentou:

"Os físicos não são unânimes quanto à natureza da luz Solar. Alguns consideram que se trata do mesmo elemento como o fogo, mas no estado de sua maior pureza. Outros prevêm-lo como uma entidade com uma natureza completamente diferente do fogo, e que, incapazes de se aquecer, tem apenas o poder de dar um fluido ígneo o movimento que produz calor"

A experiência de Saussure só evidenciou o poder da energia solar, no qual o Sol penetra pelas tampas de vidro até chegar na superfície da mesa, pintada de preto. O processo é simples e basicamente explica todo o funcionamento de aquecedores termossolares de fluido. A radiação do Sol transpassa o vidro, aumentando a temperatura do ar dentro da caixa. Em seguida, acontece um movimento de convecção do ar dentro da caixa e condução nas paredes de vidro. Como o vidro permite a refração e impede a passagem do ar, o efeito resulta em aumento de temperatura dentro do ambiente e, quanto mais interna a caixa, maior a temperatura. A superfície negra da mesa absorvia a radiação e concentrava o calor. Mesmo com a perda térmica por condução através do vidro da caixa externa, a sequência de caixas garantia um bom desempenho térmico.

Saussure melhorou o experimento procurando bloquear a perda de calor, na tentativa de um sistema ainda mais eficaz. Então pegou uma pequena caixa retangular de pinho de meia polegada e forrado com cortiça preta e tampou a caixa com três folhas separadas de vidro. Quando exposto ao Sol, a parte inferior da caixa podia atingir uma temperatura de $108,9^{\circ}\text{C}$, ou $8,9^{\circ}\text{C}$ acima do ponto de ebulição da água, e mais 20°C maior do que na primeira experiência. Este dispositivo foi chamado mais tarde uma caixa quente por causa da grande quantidade de calor solar que poderia reter.

No entanto, a caixa quente ainda estava perdendo um pouco de calor para o exterior. Saussure, então, colocou a caixa de madeira no meio de um recipiente aberto, coberto e recheado de embalagem de lã entre as paredes do recipiente e as paredes da caixa. O isolamento adicionado reteve mais o calor no interior do recipiente e a temperatura na caixa quente chegou a 230°C , embora o clima não foi tão favorável quanto durante o experimento anterior.

A caixa térmica de Saussure serviu de modelo para os cientistas do século XIX, demonstrando a relação do Sol para a Terra e sua atmosfera. Assim como as tampas de vidro da caixa quente, a atmosfera permite que mais luz solar atinja a Terra. Cerca de três quartos da radiação solar que chega ao topo da atmosfera atinge a superfície da Terra quando o céu está claro. A Terra, como a parte inferior da caixa quente, absorve o calor da luz solar. No entanto, esse calor não pode escapar facilmente através da atmosfera.

Este coletor solar, de acordo com Avalonne (2017) foi mais tarde usado por Sir John Herschel para cozinhar alimentos durante sua expedição de 1830 à África do Sul, que conseguiu temperaturas superiores $115,5^{\circ}\text{C}$. Em 27 de setembro de 1816, um homem chamado Robert Stirling solicitou uma patente para seu aquecedor na chancelaria, em Edimburgo, na Escócia. Além desses, Lord Kelvin usou um dos modelos de trabalho durante algumas de suas aulas de universidade. Este equipamento foi usado mais tarde, conhecido como “sistema de Stirling”, uma tecnologia térmica solar elétrico, que concentra a energia térmica do Sol, a fim de produzir energia.

Em 1891, um inventor de Baltimore, chamado Clarence Kemp, patenteou o primeiro aquecedor solar de água, composto de tanques de cobre que ficavam dentro de uma caixa de madeira com isolamento térmico e vidro na cobertura. Kemp, comercializou com tanto sucesso a sua invenção para residências ao longo da costa

leste da América que, em 1897, um terço dos lares em Pasadena, Califórnia já tinha água aquecida pelo Sol. Porém, esse sistema perdia calor à noite.

O ano de 1909 foi um ano de forte crescimento no segmento de energia solar térmica. William Bailey patenteou o seu sistema de aquecimento solar de água que separa o tanque de armazenamento de uma caixa que absorve o calor do Sol. Isso permitiu que a água pudesse ser armazenada em maior quantidade no interior da casa. Em 1918, Bailey já tinha vendido mais de 4.000 aquecedores solares de água quente, aos quais chamava de “Aquecedor Dia e Noite”. Os modelos atuais são muito parecidos com o de Bailey, porém são bem mais baratos muito mais leves e duráveis, além de serem muitas vezes mais eficientes.

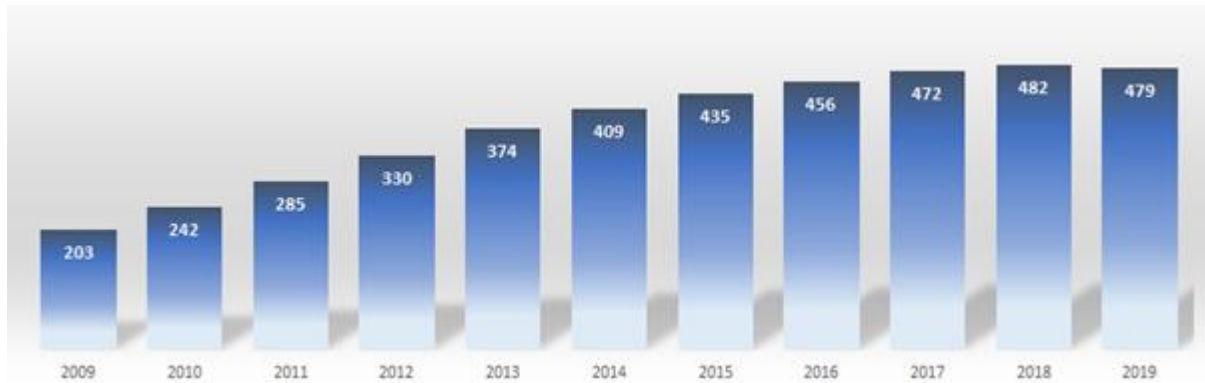
Na década de 1920, a descoberta de gás natural na Califórnia efetivamente reduziu o setor de energia solar térmica. Apesar disso, antes da Segunda Guerra Mundial, mais de metade das casas usavam o sistema solar para aquecer água na Flórida.

Em 1947, edifícios solares passivos estavam em alta demanda nos Estados Unidos, devido à escassez de energia durante a Segunda Guerra Mundial. Um livro intitulado "*The Solar House*" apresentou 49 dos melhores arquitetos do país em construções que utilizavam a energia solar.

Após a guerra, a tarifa de eletricidade em declínio pôs fim temporário à indústria solar térmica nos EUA, que só retornou ao seu sucesso pretérito na década de 1970 devido à crise do Petróleo. Foi nessa época, nos anos de 1970, que surgiram os primeiros aquecedores solares no Brasil, em especial devido à crise apresentada no mercado de petróleo. Na década de 1990, os equipamentos diminuíram o preço e melhoraram a qualidade.

Em 2020, os custos crescentes do petróleo e a diminuição de outros custos ligados à energia solar térmica, contribuem para o aumento de instalações termossolares no mundo. A alta no preço do petróleo em 2008 acelerou o crescimento das instalações termossolares em 40%, nos 10 anos seguintes, o crescimento foi de aproximadamente 236%, de acordo com o relatório REN21 (REN21, 2020).

Gráfico 04 - Capacidade Instalada de Coletores Termossolares no Mundo



fonte:REN21 (2020)

A China investiu, em 2017, em torno de US\$ 86,5 bilhões de dólares em instalações termossolares, consolidando-se como o maior produtor de energia solar do mundo. Esse país possui 68% das instalações termossolares mundiais. A causa desta liderança se revela pelo modelo construtivo descentralizado adotado pelos chineses, com baixo custo de produção e mão de obra, reduzindo significativamente o custo dos aquecedores.

Existem no mercado vários modelos de SAS, como o coletor aberto, placa plana vitrificada e tubo evacuado. O coletor aberto geralmente é um termoplástico e é mais usado para aquecimento de piscina, por atender uma faixa de temperatura mais baixa. A placa plana vitrificada é a mais utilizada no Brasil. Essa placa atende temperaturas intermediárias e seu uso geralmente é para aquecimento da água do banho. O coletor de tubo evacuado é o mais utilizado na China e sua utilização ainda está em expansão no Brasil, serve para banhos e para aquecimento de fluidos a altas temperaturas.

A eficiência de coletores termossolares é diretamente proporcional à tecnologia aplicada ao processo produtivo e a qualidade do material. Os processos mais produtivos e criteriosos de fabricação dos coletores, somados à qualidade da matéria prima empregada, resultam em coletores de alto valor agregado e boa eficiência energética.

Os coletores comercializados no Brasil com o aval do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), atendem ao Programa de Etiquetagem Brasileira (PEB) e são produzidos, em sua grande maioria, nos modelos de placas vitrificadas planas. O seu valor de aquisição vem caindo no decorrer dos

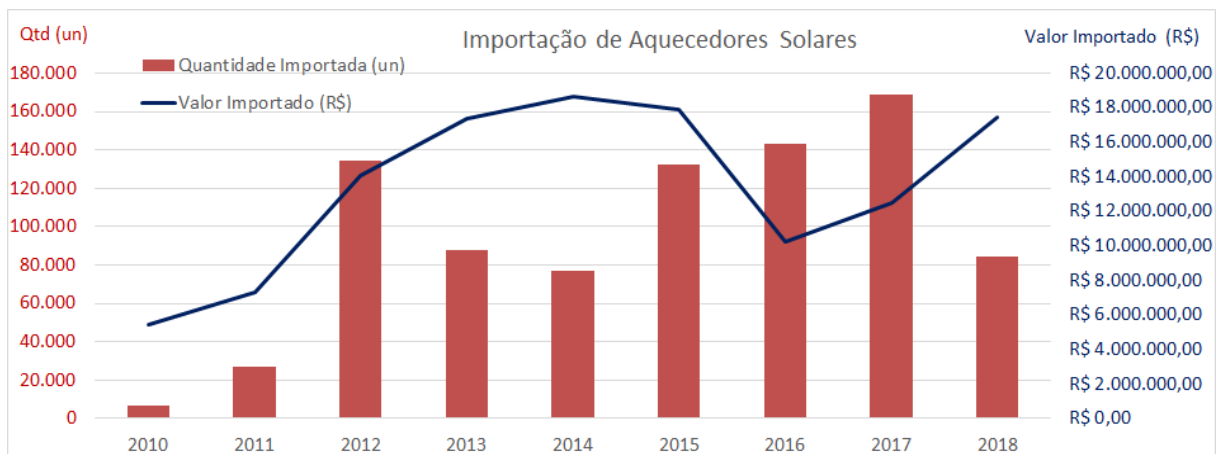
anos, favorecendo a aquisição de classes menos favorecidas. De acordo com a política de vendas da E3R, o custo do coletor solar no Brasil, recuou 30% nos últimos 10 anos, muito em virtude da concorrência acirrada com a entrada de coletores importados, como pela evolução dos processos de fabricação e desenvolvimento de materiais.

Mesmo com a crise brasileira de 2015 a 2018, que levou à estagnação da economia neste período, houve um forte crescimento no setor de energia solar. O que justifica em parte esse crescimento, foram os programas de governo Minha Casa, Minha Vida (MCMV), que demandaram muitos aquecedores solares, aumentando a capacidade produtiva das fábricas nacionais. Esse aumento do potencial produtivo, explica em parte o declínio do preço dos aquecedores, visto que, as empresas buscaram processos mais produtivos, em escala, para conseguirem atender a demanda aquecida.

Importante também salientar que esse expressivo aumento da demanda, levou ao endividamento de muitas fábricas nacionais de aquecedores solares, justamente na aquisição de máquinas e equipamentos. A projeção de atendimento de mais de 3 milhões de moradias pelo projeto MCMV justificava o investimento. No entanto, quando o projeto reduziu expressivamente as construções das residências em 2016, muitas dessas empresas entraram em processo de falência.

A concorrência com os equipamentos importados, também contribuiu para o declínio médio do preço do coletor solar nacional. No Gráfico 4 estão demonstrados os dados do crescimento da importação nos últimos anos.

Gráfico 05 - Importação de Coletores Solares em Quantidade e Valor por Ano.



Fonte: Comex Stat – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços(MICES, 2020).

Os coletores solares de tubo evacuado apresentam temperatura final mais elevada, em torno de 80°C, contra 60°C da placa plana vitrificada e menor valor de aquisição, em torno de 25% menor, de acordo com a política de vendas da E3R. Percebe-se que o brasileiro começa a investir em aquecedores solares de tubos evacuados, pois, a importação dos equipamentos da China cresceu mais de 1.868% nos últimos 10 anos (Tabela 1).

Tabela 01 – Importação de Aquecedores de Água da China.

Ano	Qtidade	Participação chinesa nos aquecedores importados	Valor FOB	% do valor dos aquecedores importados	Custo Unitário
2008	2209	19,83%	R\$ 785.527,42	52,47%	R\$ 355,60
2009	4035	45,67%	R\$ 1.164.969,04	64,65%	R\$ 288,72
2010	5498	85,11%	R\$ 1.517.122,44	63,91%	R\$ 275,94
2011	14074	52,22%	R\$ 2.738.170,39	90,04%	R\$ 194,56
2012	94321	70,35%	R\$ 5.894.016,30	85,84%	R\$ 62,49
2013	32290	36,87%	R\$ 7.166.390,10	76,68%	R\$ 221,94
2014	40574	52,80%	R\$ 9.007.995,13	82,02%	R\$ 222,01
2015	129972	98,16%	R\$ 13.438.305,83	90,40%	R\$ 103,39
2016	142698	99,58%	R\$ 8.371.847,91	94,07%	R\$ 58,67
2017	146683	87,03%	R\$ 9.591.170,05	96,58%	R\$ 65,39
2018	83718	99,27%	R\$ 14.671.928,58	91,95%	R\$ 175,25

Fonte: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços(MICES, 2020)

Este crescimento expressivo pode ser fruto de um conjunto de fatores, como o aumento do consumo de energia residencial proveniente de novas aquisições de eletroeletrônicos (Gráfico 5), que podem ter aumentado os valores das contas de energia.

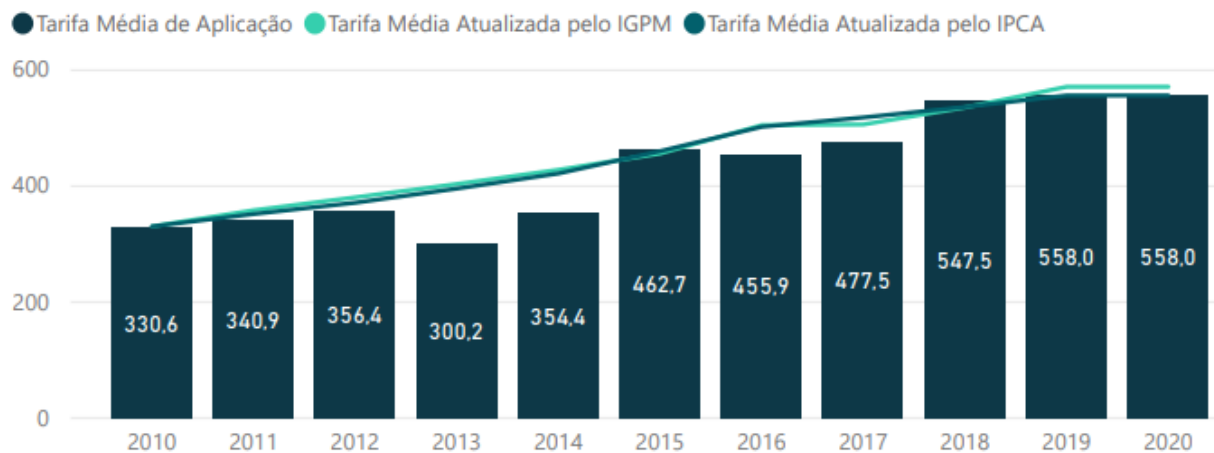
Gráfico 06 – Consumo de Energia Elétrica por Equipamento Residencial



Fonte: Plano Decenal de Energia 2029 (EPE, 2019)

Somado ao aumento espontâneo do consumo por parte dos consumidores, houve também, um aumento expressivo nas tarifas de energia elétrica no decorrer dos últimos 10 anos (Gráfico 6).

Gráfico 07 - Evolução das Tarifas de Energia Elétrica Sem Considerar Impostos
Comparativo da tarifa residencial (R\$/MWh) com IPCA e IGP-M

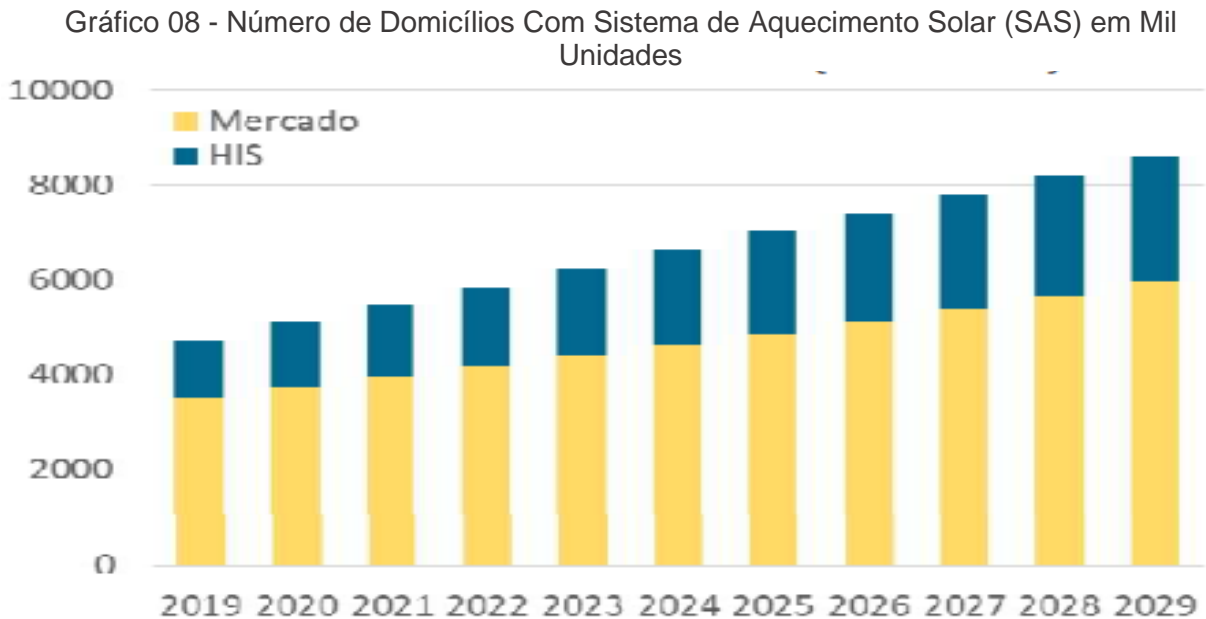


Fonte: ANEEL 2020 (Modificado)

O crescimento médio da tarifa no decorrer dos últimos 10 anos foi de aproximadamente 68%, favorecendo o aumento do valor da conta de energia nos domicílios. Este aumento interfere diretamente nas despesas residenciais, fazendo com que as famílias busquem uma forma de economizar energia elétrica, o que favorece a aquisição de sistema de aquecimento solar, visto que, o chuveiro elétrico é um dos principais responsáveis pelo consumo de energia de uma residência, em média, representa 40% do consumo de energia. Na verdade, o chuveiro elétrico é o principal vilão do consumo em residências de classes menos favorecidas, visto que, esse perfil de usuário geralmente não possui ar-condicionado e congeladores.

Em 2018, de acordo com o Plano Decenal de Energia (PDE) - 2029 (EPE, 2019) os SAS residenciais geraram em torno de 8,4 GW_{th}, ocupando uma área em torno de 12 milhões de m² de coletores solares. O número de residências com SAS instalados, ainda pelo PDE-2029, foi de 4,3 milhões em 2018, sendo que deste montante, mais de 23% foram demandadas pela política de Habitação de Interesse Social (HIS). O incentivo do governo de introduzir a tecnologia do SAS nas habitações populares, estimulou de forma significativa o mercado de aquecedores no Brasil,

conforme se verifica no Gráfico 6. A projeção do PDE 2029 reporta um crescimento significativo nos próximos anos, duplicando o número de domicílios até 2029.



Fonte: Plano Decenal De Expansão De Energia - 2029 (EPE, 2019)

O governo brasileiro tem estudado modelos adotados em outros países para buscar a melhor maneira de incentivar a difusão dos aquecedores de água a energia solar. Apesar de demandarem alto investimento inicial, os coletores termossolares garantem enorme economia para o setor elétrico. São alguns incentivos não específicos que abrangem o sistema termossolar (SENADO, 2019):

- a) Convênio nº 101, de 1997, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ): isenta do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) as operações que envolvem vários equipamentos destinados à geração de energia elétrica por células fotovoltaicas e aquecimento de água através da energia solar; não abrange, no entanto, alguns equipamentos utilizados pela geração solar, como inversores e medidores;
- b) Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI): instituído pela Lei nº 11.488, de 15 de junho de 2007, suspende, por cinco anos após a habilitação do projeto, a contribuição para o PIS/PASEP e COFINS, no caso de venda ou de importação de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos novos, de materiais de construção

e de serviços utilizados e destinados a obras de infraestrutura, entre as quais as do setor de energia;

c) Debêntures Incentivadas: instituído pela Lei nº 12.431, de 24 de junho de 2011, isenta rendimentos de pessoas físicas de Imposto de Renda sobre rendimentos relacionados à emissão de debêntures, por sociedade de propósito específico, e outros títulos voltados para a captação de recursos para projetos de investimento em infraestrutura ou pesquisa e desenvolvimento, entre os quais os destinados a geração de energia elétrica por fonte solar;

d) Redução de Imposto de Renda: projetos de setores prioritários (entre os quais o de energia) implantados nas áreas de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) e da Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste (SUDECO) têm redução de imposto de renda;

e) Condições Diferenciadas de Financiamento (MME, 2019)

e.1) BNDES: financiamento para o setor de energia elétrica com taxas de juros abaixo das praticadas pelo mercado (TJLP). Para a fonte solar, o BNDES financia até 80% dos itens financiáveis, contra 70% para as demais fontes de energia renováveis;

e.2) Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC): vinculado ao Ministério de Meio Ambiente (MMA), o Fundo visa a assegurar recursos para apoio a projetos ou estudos e financiamento de empreendimentos que visem à mitigação da mudança do clima e à adaptação à mudança do clima;

e.3) Inova Energia: uma iniciativa destinada à coordenação das ações de fomento à inovação e ao aprimoramento da integração dos instrumentos de apoio disponibilizados pela Finep, pelo BNDES, pela

Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), sendo uma de suas finalidades apoiar as empresas brasileiras no desenvolvimento e domínio tecnológico das cadeias produtivas das seguintes energias renováveis alternativas: solar fotovoltaica, termossolar e eólica para geração de energia elétrica;

e.4) Recursos da Caixa Econômica Federal (CEF): a CEF disponibiliza linha de crédito por meio do Construcard que permite compra de equipamentos de energia solar fotovoltaica para uso residencial;

f) Lei da Informática: isenções tributárias para bens de informática e de automação: a produção de equipamentos destinados à geração de energia elétrica por fonte solar utiliza vários dos produtos alcançados pela chamada Lei de Informática;

Esses incentivos se estendem ao território nacional, com exceção do desconto do imposto de renda que se aplica apenas ao Nordeste, Centro-Oeste e Amazônia. Também existem alguns incentivos específicos de cada região decretados por leis municipais, são alguns deles:

- Lei nº 10.282/11, que autoriza o Executivo a instalar sistema de aquecimento solar de água em prédios públicos da capital. Originária de projeto de lei do vereador Iran Barbosa (PMDB) e aprovada em 2º turno na CMBH em agosto, a norma incentiva o uso sustentável do meio ambiente e a redução dos gastos públicos. Vigente em Belo Horizonte (CMBH, 2011).
- LEI Nº 14.459, item 9.3.5: "As edificações novas deverão ser providas de instalações destinadas a receber sistema de aquecimento de água por meio do aproveitamento da energia solar, na conformidade das disposições de lei específica sobre a matéria". Vigente em no município de São Paulo (PMSP, 2007).
- LEI Nº 9415, item 1: I - criação de incentivos destinados a proprietários de edificações que utilizam energia solar, gás liquefeito de petróleo – GLP - e gás natural, como fonte para aquecimento de água. Vigente em Belo Horizonte (PMBH, 2007).
- LEI Nº 5002: Fica obrigatória no Município de Betim a instalação de sistema de aquecimento de água por meio do aproveitamento da energia

solar nas novas edificações multifamiliares e nas unifamiliares, com mais de três banheiros ou que façam uso de piscina aquecida com capacidade de armazenamento de água superior a 5 m³ (cinco metros cúbicos). Vigente em Betim (PMB, 2010).

Os impactos provenientes das alterações climáticas geram uma ameaça global, que exige uma contrapartida dos países para lidar com a mudança do clima. A resposta veio na 21^a Conferência das Partes (COP21) realizada em Paris, que ficou conhecido como Acordo de Paris. O acordo foi aprovado por 195 países com objetivo de reduzir gases do efeito estufa, dentro do contexto de desenvolvimento sustentável. A intenção é para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais mantendo o aumento da temperatura média global em menos de 2°C (MMA, 2020a).

O Brasil, por meio do Congresso Nacional, ratificou o acordo de Paris em 2016 se comprometendo a aumentar em 18%, a participação de bioenergia sustentável na matriz, além de reflorestar e restaurar 12 milhões de hectares de vegetação nativa e, principalmente, o que favorece a energia termossolar, alcançar uma participação de 45% de energias renováveis, tudo isso até 2030. As ações são necessárias para conquistar o compromisso assumido de reduzir em 37% as emissões de gases efeito estufa, em relação ao ano de 2005, até 2025, seguido de uma nova meta de redução de 43%, no mesmo ano base de 2005, até 2030 (MMA, 2020b).

A economia oriunda de um sistema de aquecimento solar (SAS) para água pode ser facilmente exemplificada. Considerando uma residência que paga uma conta de energia elétrica em torno de R\$ 300,00 e considerando o custo da energia a R\$1,00/kWh com impostos, o consumo dessa residência seria de 300 kWh por mês. Se essa mesma residência tem 4 moradores que tomam dois banhos diários (totalizando 8 banhos/dia) em um tempo médio de 10 minutos/banho, o chuveiro elétrico dessa residência permanece ligado por 80 minutos/dia. Considerando que a potência do chuveiro é de 5,4 kWh, o período que o chuveiro permanece ligado resultaria em um montante de 7,182 kWh/dia (ou aproximadamente 215,46 kWh/mês). Com o SAS, o consumo dessa residência seria de 84,54 kWh/mês (diferença entre o valor da conta sem o sistema de aquecimento e o consumo do chuveiro elétrico). Como o estado de Minas Gerais subsidia contas com consumo abaixo de 90 kWh/mês com a isenção de 30% do imposto do ICMS, a conta de energia desse exemplo pode

chegar a aproximadamente R\$ 59,18. Assim, a adoção do SAS resulta em um desconto de mais de 80% na conta de energia, especificamente neste caso proposto.

Aumentar o número de casas atendidas com energia solar térmica auxilia o país a suprir a crescente demanda de energia de forma limpa e é vantajoso ambiental, social e economicamente. Assim podemos dizer que é uma iniciativa sustentável.

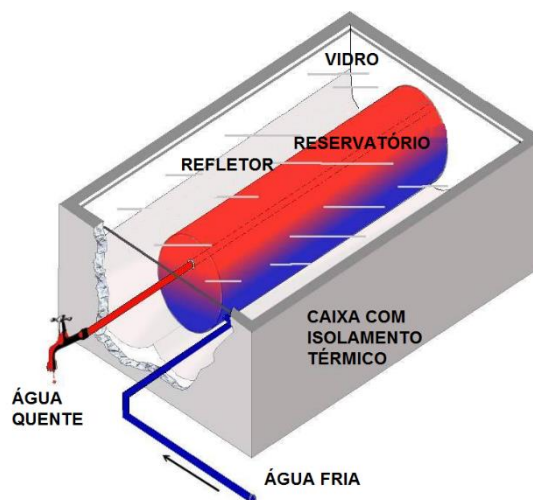
3.2.1. SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Tipos de Aquecimento Solar de Água.

A variedade dos sistemas de aquecimento solar de água é proveniente das características climáticas do local da instalação, pois, sofrem interferência da temperatura ambiente e da radiação solar que impactam diretamente na temperatura necessária da água de consumo. Os sistemas podem ser divididos em 2 categorias:

- Sistemas Passivos – A circulação do fluido é natural, realizada por convecção originando um sistema de termossifão. Dentre os modelos de sistemas passivos temos:
 - *Coletor de Armazenamento Integrado (CAI)* – O reservatório fica inserido em uma caixa térmica fechada com um vidro na parte superior e funciona como armazenamento de água e coletor ao mesmo tempo, conforme figura 04. São simples e mais baratos, no entanto, são mais indicados em climas moderados com boa radiação solar.

Figura 04 –Coletor de Armazenamento Integrado (CAI)



Fonte:(Modificado) (Schaap 2010)

- *Armazenamento de Calor por Convecção (ACC)* – São formados por placas planas vitrificadas (monoblocos) embutidos diretamente nos boilers, coletores de tubos evacuados acoplados em tanques termicamente isolados e coletores planos vitrificados ligados por tubos à um reservatório térmico, conforme figura 05.

Figura 05 – Exemplos de Coletores de Armazenamento de Calor por Convecção (ACC)



Fonte: A) Laboratório de Ensaio Green-PUCMG, B) & C) Acervo próprio E3R

- **Sistemas Ativos** – A circulação é forçada, por meio de bombas, que direcionam o fluido. Como exemplos de sistemas ativos, podemos citar:
 - **Diretos** – A água que fica acumulada no reservatório é a mesma que circula nos coletores por meio de uma bomba. Mais usado em regiões tropicais onde não há incidência de baixas temperaturas que favoreçam o congelamento da água;

Figura 06 – Sistema Ativo Direto (Circulação Forçada)



Fonte: Fábrica IVECO – Sete Lagoas (Acervo próprio E3R)

- **Indiretos** - O fluido que circula no coletor, por meio de uma bomba, entra em um trocador de calor dentro do reservatório térmico em um sistema fechado e não se mistura com a água de consumo.

Usados em regiões mais frias, onde o fluido circulante é anticongelante ou em processos industriais.

Existem vários modelos que visam aproveitar a energia solar para aquecimento de água para banho e em países de clima quente tecnologias mais simples e conseqüentemente mais baratas são amplamente difundidas. Dentre os modelos de coletores solares mais usados podemos distingui-los em grupos, caracterizados pela forma de produção e componentes usados, tais como:

- **Modelo Placa Coletora Plana Vitrificada (PCPV)** – é o modelo mais tradicional e mais fabricado no Brasil. O sistema pode ser acionado por circulação natural ou forçada. As placas coletoras são ligadas em um boiler que armazena a água quente para o banho e onde a água fria entra e recircula nas placas que possuem uma estrutura composta por uma caixa externa, aberta na parte superior, que pode ser de alumínio, aço carbono, chapa galvanizada ou galvalume, revestida internamente por uma camada de material de baixa condutividade térmica como o poliuretano, lã de vidro ou poliestireno, com uma serpentina de pode ser de cobre ou alumínio presa em aletas de metal pintadas de preto fosco sobre o revestimento e fechando a caixa temos o vidro. A água entra na parte inferior da caixa por meio da serpentina, recebe o calor absorvido pelas aletas e conduzido até a serpentina e sai pela parte superior.

Figura 07 – Placa Coletora Plana Vitrificada – (PCPV)



Fonte: Estoque E3R (Acervo próprio E3R)

- **Modelo Placa Coletora de Polímero Não Vitrificado (PCPNV)** – é muito usado para aquecimento de piscinas devido ao seu alto índice de perda térmica e alta eficiência na faixa de temperatura almejada para piscinas, como as placas planas o sistema pode ser de circulação natural ou forçada, a troca de calor é feita diretamente com a água da piscina, o que representa outra vantagem, visto que, os polímeros não sofrem agressão que os metais sofrem com a água clorada. Representa um modelo simples composto de polímeros que podem ser PVC, PP e EPDM, geralmente são estruturas compactas com canais internos verticais onde a água entra na parte inferior e recebe por condução a transferência do calor recebido pelo polímero na face externa, exposta à radiação solar, saindo na parte superior.

Figura 08 – Coletor Aberto (PCPNV)



Fonte: Instalação de Aquecimento Solar de Piscina - E3R (Acervo próprio E3R)

- **Modelo Tubo Evacuado Acoplado All-Glass (TEAAG)** – pouco conhecido no Brasil, mas bem difundido no Mundo, principalmente na China que domina 90% da produção mundial, comumente usados em residências unifamiliares e possuem modelos que variam de 140L a 350L, o que corresponde a faixa de banhos que gira em torno de 4 a 15 banhos diários, de 10 minutos de permanência a uma

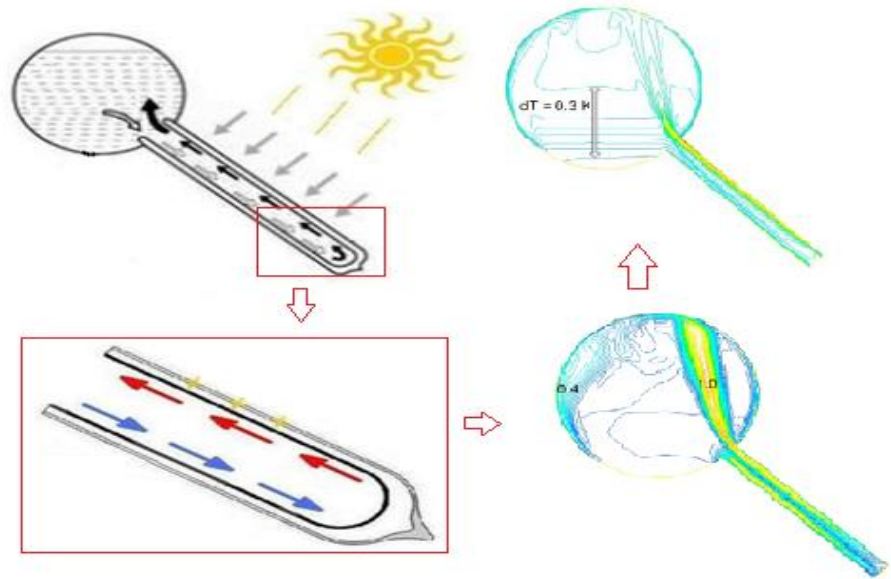
vazão média de 8 l/min. Os coletores são compostos por 2 tubos concêntricos de borossilicato com espessura média de 1,9mm, com vácuo entre as camadas, na face externa do tubo interno existe uma tinta seletiva à base de alumínio e zinco, que possui alta absorvidade e baixa emissividade. Os tubos são independentes e acoplados em um ângulo de 45° ao reservatório térmico, localizado acima dos tubos. Este conjunto de fatores torna o modelo o mais eficiente dos equipamentos solares, devido à melhor eficiência ótica e a menor perda térmica. Os reservatórios ficam expostos à intempéries para que os coletores recebam a radiação solar, o que de certa forma, exige um padrão de qualidade mais elevado. A camada externa dos reservatórios é um cilindro de 0,5mm que pode ser de aço inox, alumínio ou aço carbono com pintura eletrostática, internamente como isolante térmico têm-se uma camada de poliuretano densidade 40 com 60mm de espessura e inscrito neste isolamento existe outro cilindro de aço inox 304 de 0,5mm de espessura. Os tubos acoplados ao reservatório são vedados por um O'ring de silicone e possuem um anel de vedação para acabamento. A água entra por cima do reservatório e é direcionada por um tubo interno no cilindro para a parte inferior, por gravidade a água desce até o completar os tubos, neles ocorre a troca de calor entre a água e o tubo interno aquecido pela radiação solar incidente na película da tinta seletiva que absorve a energia e a transfere para o tubo, por condução esse tubo transfere calor para a água, gerando um termossifão, com circulação natural da água.

Figura 09 – Aquecedor Solar de Boiler Acoplado em Tubo Evacuado (TEAAG)



Fonte: Instalação de Aquecimento solar para banhos - E3R (Acervo E3R)

Figura 10 – Perfil de Temperatura no Modelo (TEAAG)

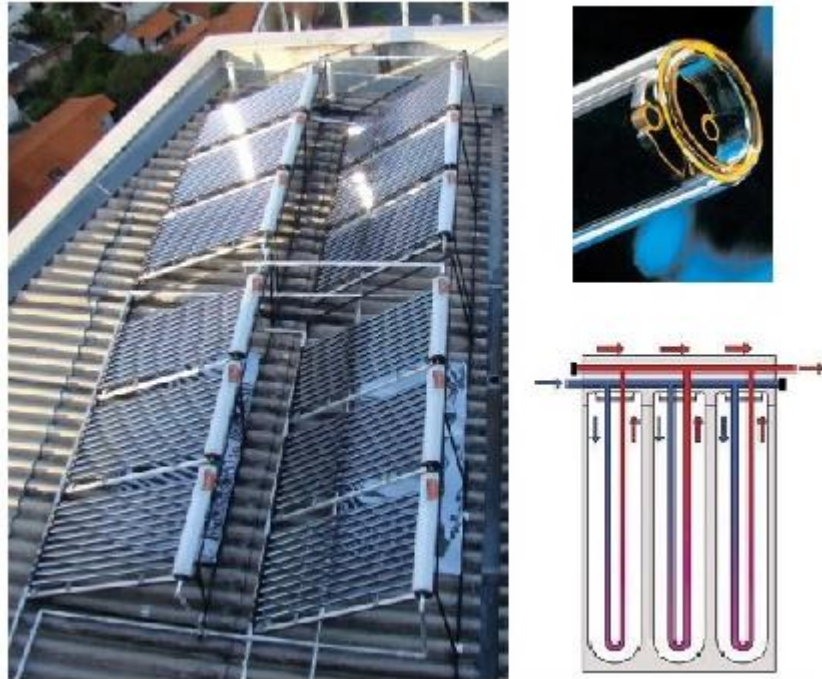


Fonte:(Modificado) (MORRISON; BUDIHARDJO; BEHNIA, 2004)

- **Modelo de Tubo Evacuado Modular U-pipe (TEMUP)** – Equipamento caracterizado pelo funcionamento independente do grau de inclinação do coletor, pois, enquanto os outros modelos sugerem inclinações de 10° mais o somatório da latitude, o modelo U-pipe trabalha em qualquer intervalo de 0° a 90° . A estrutura de montagem do equipamento é que permite essa vantagem, pois, o coletor uni as tecnologias do coletor de tubo à vácuo com a tecnologia das placas coletoras planas, onde um tubo de cobre, que na placa plana é usado como uma serpentina, entra no tubo coletor à vácuo em formato de U, conforme figura 11, permitindo a entrada da água em uma extremidade do coletor, passando por todos os tubos e saindo na outra extremidade. Os tubos coletores à vácuo possuem as mesmas características do tubo All glass, porém, neste caso existem aletas de alumínio que transferem o calor da parede do tubo interno para o tubo de cobre E, que por sua vez, transfere o calor para a água, em um processo de termosifão. Este coletor funciona tanto com circulação natural quanto com circulação forçada, armazenando a água quente em um boiler separado, como na placa plana. A vantagem da flexibilidade da inclinação dos

coletores na instalação estimula a escolha deste modelo por arquitetos, por apresentar menor interferência no design das construções.

Figura 11 – Coletor Solar de Tubo Evacuado U-Pipe (TEMUP)

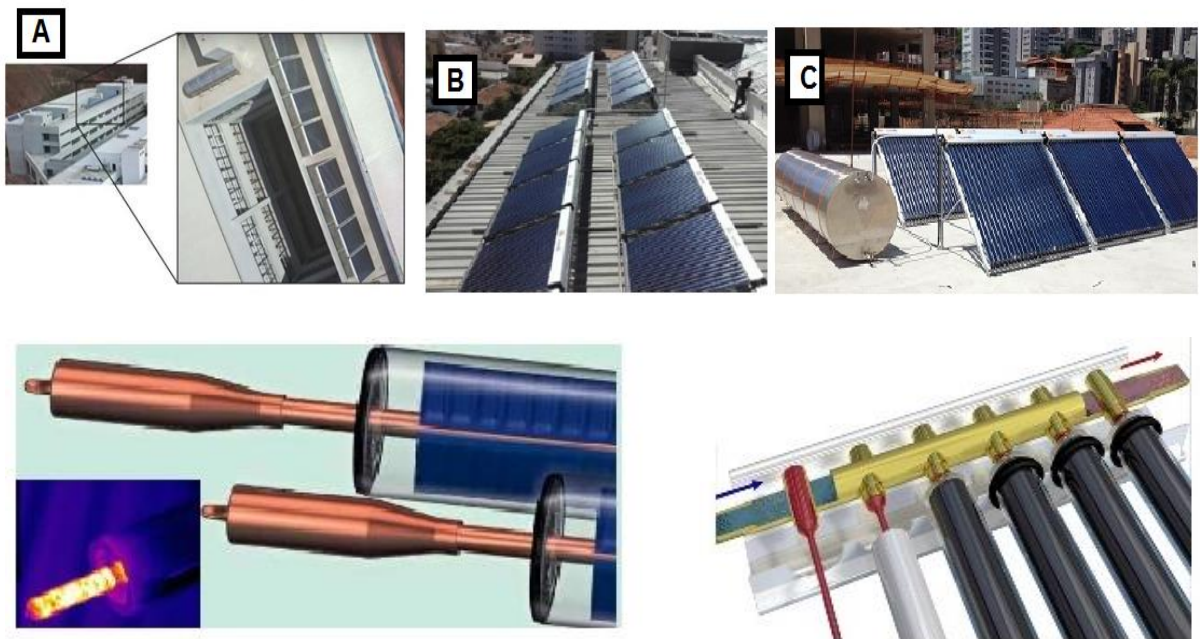


Fonte: Instalação predial de Aquecimento solar Central para banhos - E3R (Acervo E3R)

- **Modelo de Tubo Evacuado Modular Heat-pipe (TEMHP)** – Conhecido como coletor de alta performance, pois, possui dentro dos tubos coletores, os mesmos tubos caracterizados pelo modelo All Glass, aletas que transferem calor do tubo interno para um recipiente fechado de cobre, conforme figura 12, que possui no seu interior um álcool que ao receber o calor das paredes de cobre, muda de fase e expande em direção ao bulbo. A água entra em uma extremidade e troca calor com os bulbos inseridos em cada um dos tubos. A alta performance é garantida pelo fato do álcool ao ser resfriado tende a mudar novamente de fase e sublimar, porém, enquanto muda de fase a temperatura permanece constante, prolongando a troca térmica com a água na passagem dela pela parte superior do coletor até sair na outra extremidade. Este modelo é muito usado em instalações de grande demanda de água quente,

como prédios residenciais e vestiários ou para processos industriais que demandam altas temperaturas, com pré-aquecimento de água de alimentação de caldeiras. Assim como o U-pipe, ele pode ser instalado por circulação natural ou circulação forçada e necessita de um boiler para armazenamento da água quente.

Figura 12 – Coletor Solar de Tubo Evacuado Heat-Pipe (TEMHP)



Fonte: A) Aquecimento solar Hospital Regional Governador Valadares - MG (Acervo E3R),

B) Instalação de aquecimento solar Hospital Regional de Juiz de Fora – MG (Acervo E3R),

C) Instalação de Aquecimento Solar Central Predial em Belo Horizonte – MG (Acervo E3R).

- **Modelo de Tubo Evacuado Modular All-Glass (TEMAG)** – É um coletor modular, como o U-pipe e Heat-Pipe, porém, os tubos não apresentam nenhuma aleta interna. O princípio de funcionamento é o mesmo do TEAAG, onde o fluido aquece dentro do tubo e pela diferença de densidade, o fluido frio, mais denso, ocupa a parte inferior do tubo e movimentam o fluido quente, para a parte superior dos tubos, onde há um manifold com um pequeno reservatório de passagem, que concentra este fluido aquecido pelos tubos. Este coletor só funciona em baixa pressão e é ideal para processos produtivos onde o fluido possui alta corrosividade. O reservatório

interno retangular dentro do manifold, de aço inox 316 e os tubos de vidro que compõem os coletores são resistentes a fluidos mais agressivos. Muitos processos industriais usam trocadores de calor para aquecer fluidos de forma indireta, em virtude da agressividade do fluido. Geralmente, uma caldeira a gás gera vapor e esse vapor passa pelo trocador de calor, que transfere o calor para o fluido, porém, como a troca é indireta, existe uma perda significativa de calor neste processo. O TEMAG favorece o uso do aquecimento deste fluido, de forma direta, passando o fluido a ser aquecido dentro do próprio manifold do coletor, reduzindo assim, consideravelmente a necessidade da troca indireta proveniente da caldeira.

Figura 13 – Coletor Tubo Evacuado Modular All-Glass (TEMAG)



Fonte: Instalação de aquecimento solar de troca direta do tanque de fosfatização do processo de pintura da fábrica de tratores CNH Industrial do Grupo FIAT. Contagem - MG (Acervo E3R).

A evolução constante da tecnologia de modelos termossolares favorece a aplicação de conceitos de eficiência energética eliminando ou reduzindo o consumo de combustíveis/energia para aquecer fluidos em processos industriais.

Vários segmentos industriais usam água quente ou precisam aquecer algum tipo de fluido para a melhoria no processo. A tabela 2, a seguir, revela alguns processos industriais, que podem ser atendidos, com o uso da energia termossolar.

Tabela 02 - Potenciais Setores de Aplicação Termossolar

Setor	Processos	Temperatura (°C)	Tipo de coletor solar
Cerveja e Malte	Fervura do mosto	100	Tubo evacuado Heat Pipe
	Limpeza do Vasilhame	60	Placa Plana Vitrificada
	Arrefecimento	90	Tubo evacuado All Glass
	Secagem	60	Placa Plana Vitrificada
Laticínios	Pasteurização	85	Tubo evacuado All Glass
	Esterelização	150	Tubo evacuado Heat Pipe
Alimentos em Conserva	Pasteurização	75	Tubo evacuado All Glass
	Esterelização	125	Tubo evacuado Heat Pipe
	Cozimento	98	Tubo evacuado Heat Pipe
	Escaldamento	100	Tubo evacuado Heat Pipe
	Branqueamento	85	Tubo evacuado All Glass
Carne	Lavagem	90	Tubo evacuado All Glass
	Esterelização	100	Tubo evacuado Heat Pipe
	Limpeza do Vasilhame	100	Tubo evacuado Heat Pipe
	Cozimento	100	Tubo evacuado Heat Pipe
Vinho e Bebidas	Limpeza do Vasilhame	90	Tubo evacuado All Glass
	Arrefecimento	85	Tubo evacuado All Glass
Indústria Textil	Lavagem	85	Tubo evacuado All Glass
	Branqueamento	85	Tubo evacuado All Glass
	Tinturaria	85	Tubo evacuado All Glass
	Cozimento	200	Tubo evacuado Heat Pipe
Indústria de Automóveis	Secagem	220	Tubo evacuado Heat Pipe
	Desengraxante	55	Placa Plana Vitrificada
Indústria de Papel	Polpa Papel	180	Tubo evacuado Heat Pipe
	Cozimento	85	Tubo evacuado All Glass
	Caldeira	150	Tubo evacuado Heat Pipe
	Branqueamento	160	Tubo evacuado Heat Pipe
	Secagem	160	Tubo evacuado Heat Pipe
Curtumes	Tratamento	165	Tubo evacuado Heat Pipe
	Secagem	180	Tubo evacuado Heat Pipe
Indústria da Cortiça	Secagem	155	Tubo evacuado Heat Pipe
	Cozimento	155	Tubo evacuado Heat Pipe

Fonte: Introdução a Sistemas de Aquecimento Solar (RODRIGUES et al., 2010) (Modificado)

3.3.TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

Em 1839, Edmund Becquerel montou uma experiência onde expôs dois eletrodos de prata em um eletrólito à luz do Sol e observou que havia produção de corrente elétrica, sendo este, um dos primeiros registros do efeito fotovoltaico. Brito & Silva (2006).

Após 38 anos deste evento, em 1877, dois cientistas, W. G. Adams e R. E. Days, usaram o estudo de Becquerel para produzir energia e criaram a primeira célula solar da história, utilizando o Selênio. Porém, a eficiência da célula era muito baixa, atrapalhando os planos de produção em larga escala do gerador (PUEL, 2019).

Quase um século depois, em 1954, o cientista D. M. Chapin, patenteou no *Bell Laboratory*, com eficiência razoável de 4,5% uma célula solar de silício.

Até 2016 havia alguns modelos de painéis fotovoltaicos, de composição variadas e processos construtivos diferentes, que resultavam em eficiências distintas (MAIA, 2016). A tabela 03 a seguir traz um resumo destes modelos, porém, a evolução dos processos produtivos tem aumentado consideravelmente a eficiência dos painéis.

Tabela 03 – Tipos de Painéis Fotovoltaicos, Composição e Eficiência Média.

Painel Fotovoltaico	Composição	Eficiência Média
Silício Monocristalino	Silício	14 a 21%
Silício Policristalino	Silício	13 a 16,5%
Filme Fino (a-Si)	Silício	6 a 9%
Filme Fino (CdTe)	Telureto de Cádmo	9 a 11%
Filme Fino (CIS/CIGS)	Selenato de Cobre, Índio E Gálio	10 a 12%
Filme Fino (OPV)	Orgânicas	não definido
Híbrido HJT	Silício	20%

Fonte: (MAIA, 2016)

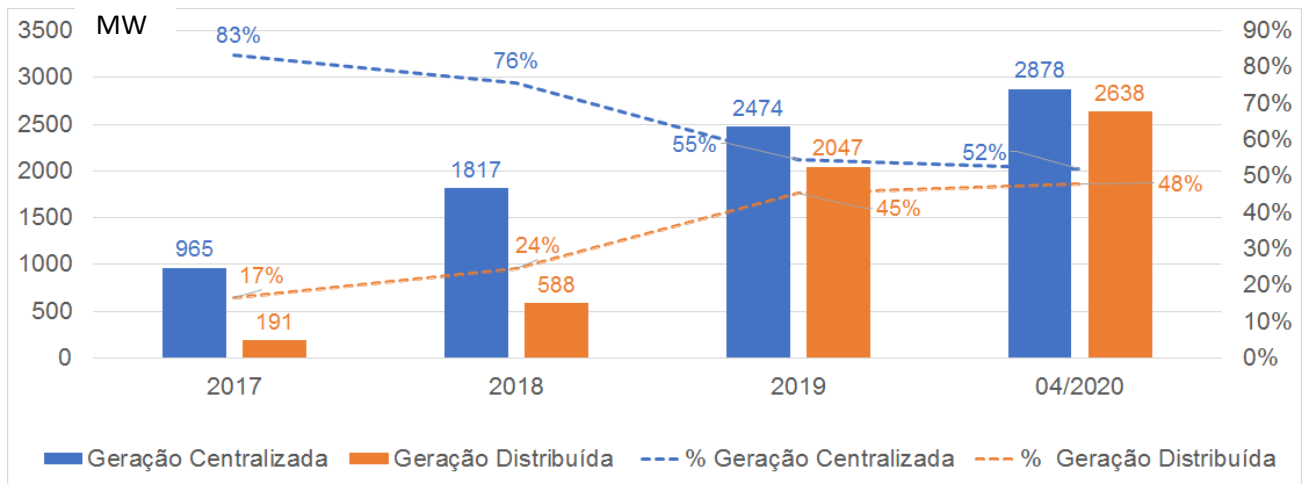
O sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica cresceu no Brasil a partir de 2012, quando a ANEEL, por meio da Resolução Normativa nº 482/2012, permitiu que qualquer usuário de energia das concessionárias, pudesse gerar sua própria energia elétrica, desde que a fonte fosse de energia renovável, como a

energia fotovoltaica. A geração foi classificada como microgeração e minigeração, no qual, microgeração possuía potência instalada até 100 kW e a mini geração era considerada a partir de 100 kW até o limite de 1MW (ANEEL, 2012)

Em dezembro de 2012, a Resolução Normativa nº 482/2012 é alterada pela Resolução Normativa nº 517/2012, criando o sistema de compensação. Em resumo, o sistema de compensação – como o próprio nome indica – compensa a energia consumida pelo usuário da concessionária pela energia gerada pela usina fotovoltaica deste usuário. Caso o usuário venha a consumir mais do que gera, a concessionária cobra a diferença na conta. Porém, quando o usuário gera mais do que consome, a concessionária estabelece um crédito no valor desta diferença para o usuário por um período de 36 meses. Ao fim deste período, o usuário da concessionária perderia o potencial crédito gerado. A compensação só poderia ser realizada pelo próprio usuário, pessoa física ou pessoa jurídica, dentro da mesma área de concessão (ANEEL, 2012).

Muitos fatores contribuíram para que as resoluções da ANEEL não tivessem um efeito imediato de crescimento da tecnologia fotovoltaica, como a ausência de profissionais capacitados no mercado para ofertar as usinas, a falha de comunicação da ANELL na divulgação do sistema de compensação, a pouca atratividade das concessionárias de energia na adequação das normativas e, principalmente, a ausência de canais de fornecedores. O mercado necessitou de pelo menos dois anos para vencer a curva de aprendizado técnico do segmento e os projetos começaram a se difundir em todo o país (gráfico 09).

Gráfico 09 - Evolução da Potência Instalada da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil



Fonte: (ABSOLAR, 2020)(Modificado)

Em outubro de 2014 houve o sexto Leilão de Energia de Reserva (LER), sendo esse o primeiro em que a fonte solar não competiu com outras fontes. A tecnologia fotovoltaica tinha um custo de instalação maior do que outras fontes renováveis – como a hídrica, eólica e biomassa – fazendo com que os projetos fotovoltaicos não fossem atraentes, não sendo até então, contemplados nos leilões.

Foram inscritos 10,79 GW em 400 projetos de energia solar, dos quais foram contratados 889,66 MW em 31 projetos, a um custo médio de R\$ 215,12 por MWh. As outras fontes de energia participantes deste leilão (eólica e biomassa), ofertaram mais de 15 GW, dos quais 769,10 MW foram contratados a um custo médio de R\$ 142,34 o MWh. A geração centralizada cresce desde 2014, conforme informações da ABSOLAR. A ANEEL, por meio do sistema SIGA, reporta informações da geração de energia elétrica no país mensalmente. Conforme demonstrado no gráfico 10 a seguir, até novembro de 2020, existe um montante de 13,75 GW já outorgadas pela agência, mas que ainda não iniciaram a construção e a potência instalada em operação até esta data, na geração centralizada, já equivale a 3,18GW.

Gráfico 10 - Relação em Escala da Potência de Usinas Fotovoltaicas Outorgadas pela ANEEL.

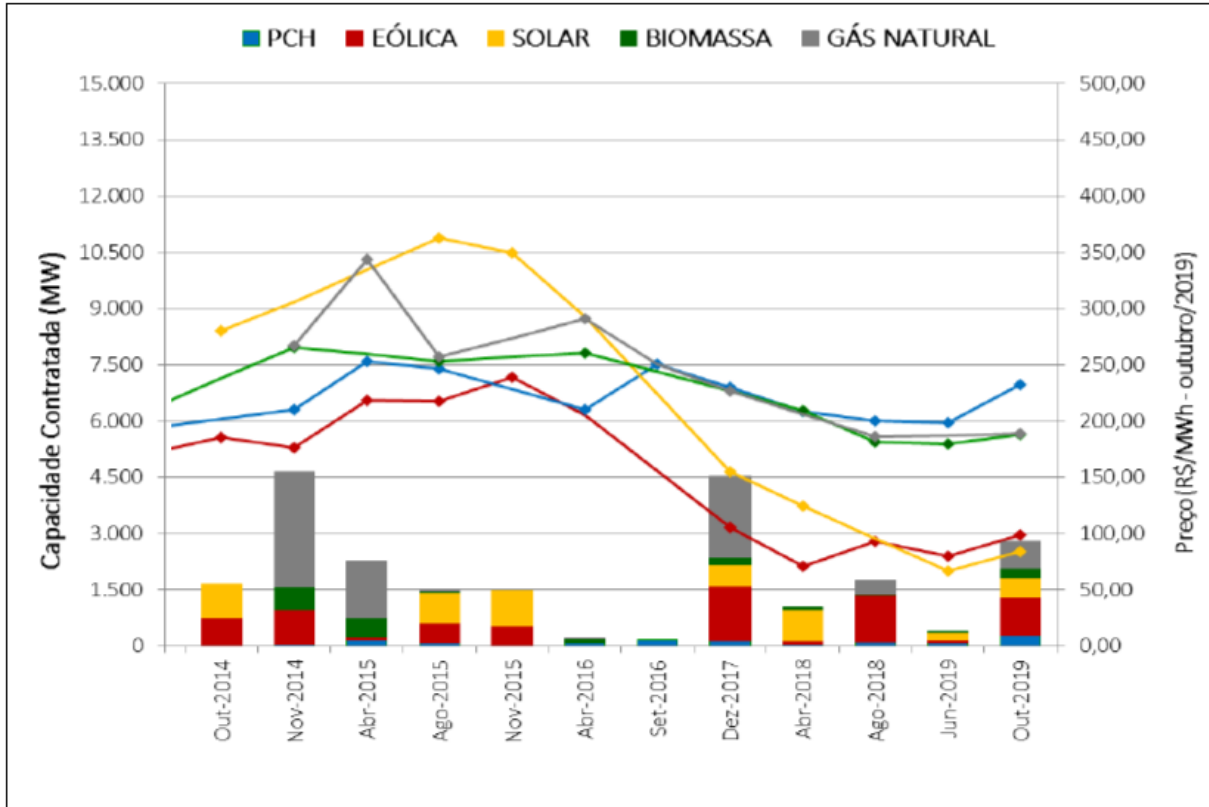


Fonte: (ANEEL, 2020a)

O principal motivo do crescimento dos sistemas fotovoltaicos de geração centralizada no Brasil, por meio dos leilões, foi a redução significativa dos custos, em

dólar, da instalação das usinas (Gráfico 11). A desvalorização da moeda brasileira, que tornaram os leilões atrativos para investidores estrangeiros, também contribuiu para o avanço dos investimentos.

Gráfico 11 - Evolução dos Preços nos Leilões de Energia por Tipo de Fonte em R\$/MWh



Fonte: (EPE, 2020b)

Conforme ressaltado por Campos (2019), o crescimento vertiginoso de sistemas fotovoltaicos a partir de 2014 forçou a ANEEL a readequar a norma e padronizar junto às concessionárias as informações de geração, compatibilizando-as com as informações de fornecimento de energia advindo da concessionária. O objetivo da nova regulamentação era reduzir custos, estabelecendo menores prazos junto às concessionárias para aprovações de solicitações de acesso dos usuários à geração distribuída.

A Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL, além de aumentar o limite da capacidade das usinas geradoras, possibilitou também o ingresso de grupos de pessoas no sistema de compensação, aumentando o interesse de grupos econômicos no segmento (ANEEL, 2015). Essa nova resolução também alterou as potências das usinas de mini e microgeração, ficando desta vez,

estabelecido o montante de 75kW para micro e mini as usinas gerando na faixa de 75 a 5000 kW, para energia solar (ANEEL, 2015).

Os créditos de geração dos usuários, que antes duravam 36 meses juntos às concessionárias para expirar, com a Resolução Normativa nº 687/2015 passaram a durar 60 meses. Além disso, foi autorizado também a compensação de energia para cooperativas, condomínios e consórcios, favorecendo grupos de investidores a entrarem no segmento de energia solar. A possibilidade de se criar cooperativas e consórcios de pessoas com intuito de gerar energia favoreceu o surgimento das fazendas solares, criando o conceito de geração compartilhada (CAMPOS, 2019)

A Resolução Normativa nº 687/2015 também permitiu que o usuário da concessionária pudesse descontar o consumo de outras contas de energia em uma só usina geradora, desde que essa esteja no mesmo CPF ou CNPJ do titular da usina. Esse mecanismo ficou conhecido como autoconsumo remoto.

A compensação de energia realizada pelo proprietário da usina fotovoltaica não o livra de um pagamento à concessionária, que estabelece parâmetros para o que a concessionária chama de custo de disponibilidade ou TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 04 - Quadro com as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD)

CONSUMIDOR	Fase	TUSD (kWh)
GRUPO B (Baixa Tensão)	Monofásico	30
	Bifásico	50
	Trifásico	100
GRUPO A (Alta Tensão)	Indiferente	Sem a tarifa

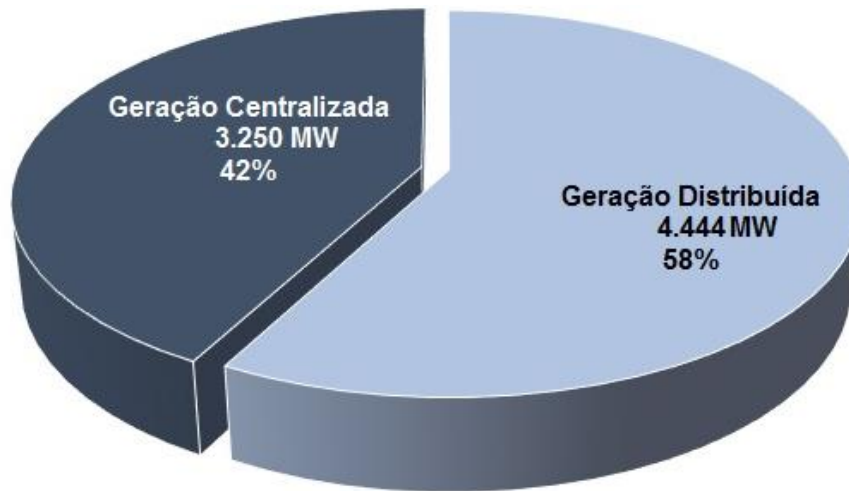
Fonte: (ANEEL, 2015)

É importante ressaltar que o Grupo A da Tabela 4 não precisa pagar o TUSD, porém, continua pagando pela demanda contratada, compensando o consumo na sua totalidade.

A matriz elétrica brasileira aponta a geração solar centralizada fotovoltaica, de acordo com a CCEE (Câmara de Comércio de Energia Elétrica), ocupando 1,87% da matriz em 2020, com 3.250 MW instalados. O montante da micro e minigeração

distribuída é de 4.444 MW. A soma dos dois montantes revela uma potência instalada de solar fotovoltaica no Brasil de 7694 MW até novembro de 2020 (Figura 07).

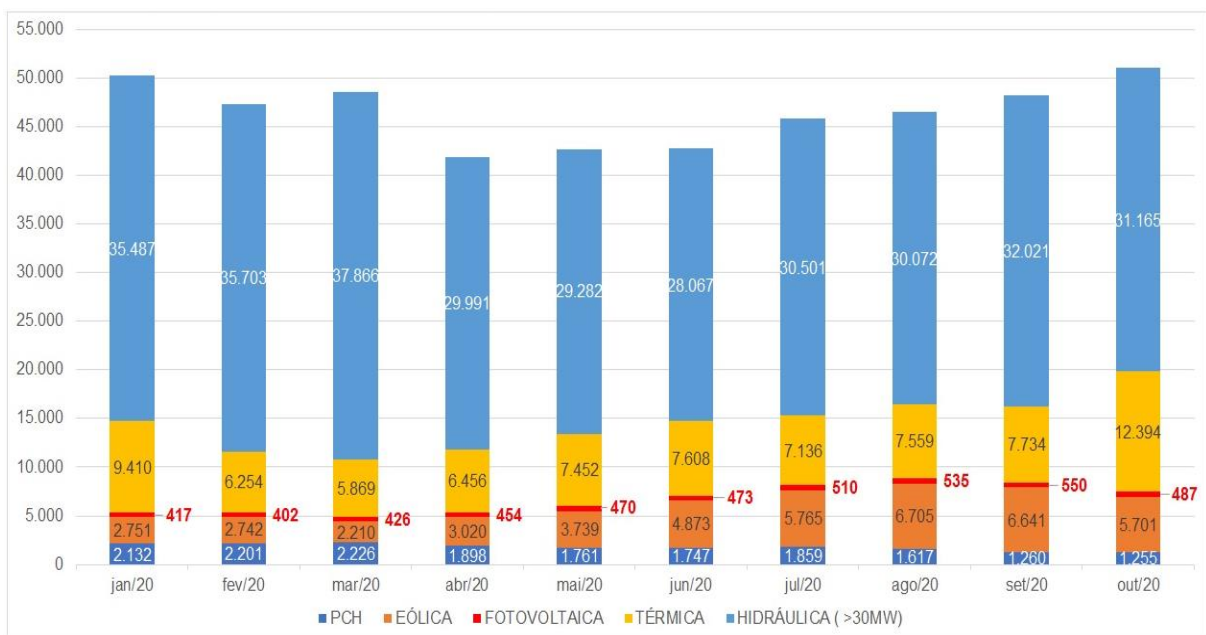
Gráfico 12 – Potência Instalada em Geração Fotovoltaica (MW)



Fonte: (CCEE, 2020)&(EPE, 2020a)(Modificado)

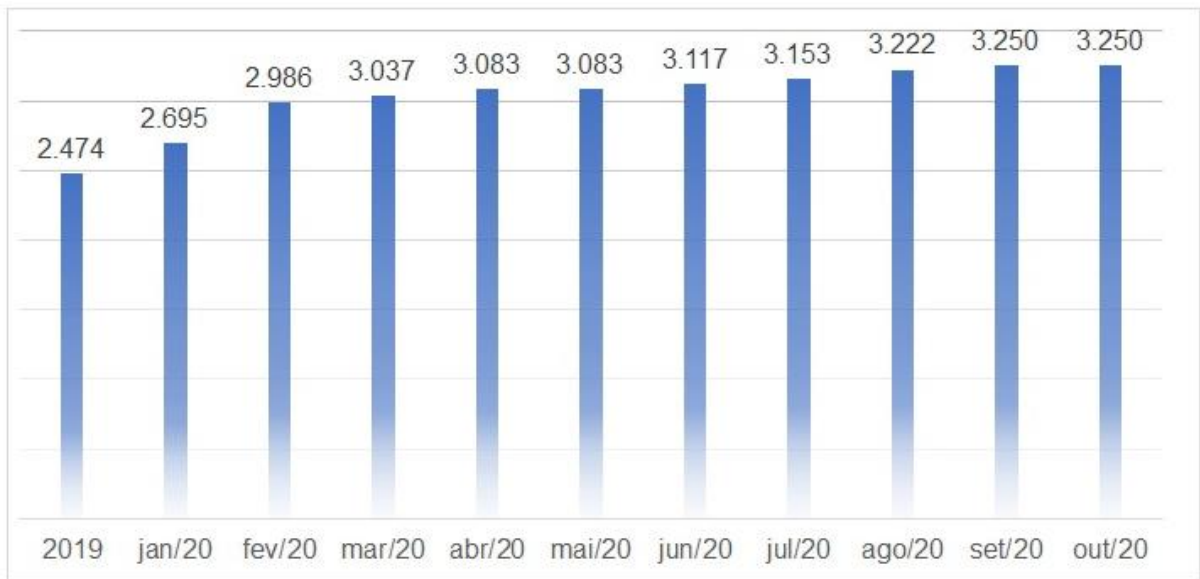
A geração centralizada não evoluiu no mesmo ritmo da geração distribuída no ano de 2020, muito provavelmente em virtude das restrições referentes à pandemia do COVID-19, que impactaram os mercados mundiais, inclusive o Brasil, conforme se verifica nos gráficos 13 e 14, a seguir.

Gráfico 13 – Evolução da Geração Centralizada em 2020 (GWh)



Fonte: (CCEE, 2020) (Modificado)

Gráfico 14 – Capacidade Instalada em Geração Centralizada (MW)



Fonte: (CCEE, 2020)&(EPE, 2020a)(Modificado)

A geração distribuída se mostra um modelo excepcional para a distribuição de renda dentre as famílias brasileiras. A possibilidade de cada cidadão usuário de uma concessionária poder gerar sua própria energia e economizar o valor pago pelo insumo em um período de 25 anos favorece o acúmulo de capital proveniente desta economia. A figura 14 ilustra uma instalação fotovoltaica de geração distribuída.

Figura 14 – Usina Fotovoltaica 60kWp.



Fonte: E3R Energias Renováveis (Acervo E3R)

A distribuição da irradiação solar no Brasil contribui para a distribuição da renda. Regiões com maior incidência solar, como a caatinga e o agreste nordestino, que possuem baixo IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) estão mais propícias à receber investimentos em geração centralizada fotovoltaica.

A geração distribuída apresenta atualmente números de um mercado consolidado, com grandes investimentos e expressivo potencial de empregabilidade. Atualmente o segmento fotovoltaico avança quebrando recordes, com apoio significativo da população brasileira. O segmento fotovoltaico se expande em todo o território brasileiro, crescendo, mesmo durante o período de recessão, registrado no Brasil nos últimos anos. A distribuição do crescimento é descentralizada, sendo que o Estado de Minas Gerais se destaca com quase um quinto de toda a potência instalada no Brasil.

A dispersão do crescimento da tecnologia fotovoltaica para várias cidades do extenso território brasileiro, favorece a ideia de que o país todo está apto a implementar usinas fotovoltaicas, como no município de Antônio Dias – MG, com menos de 10 mil habitantes e ativo na inclusão da tecnologia, conforme ilustrado na foto 15, a seguir.

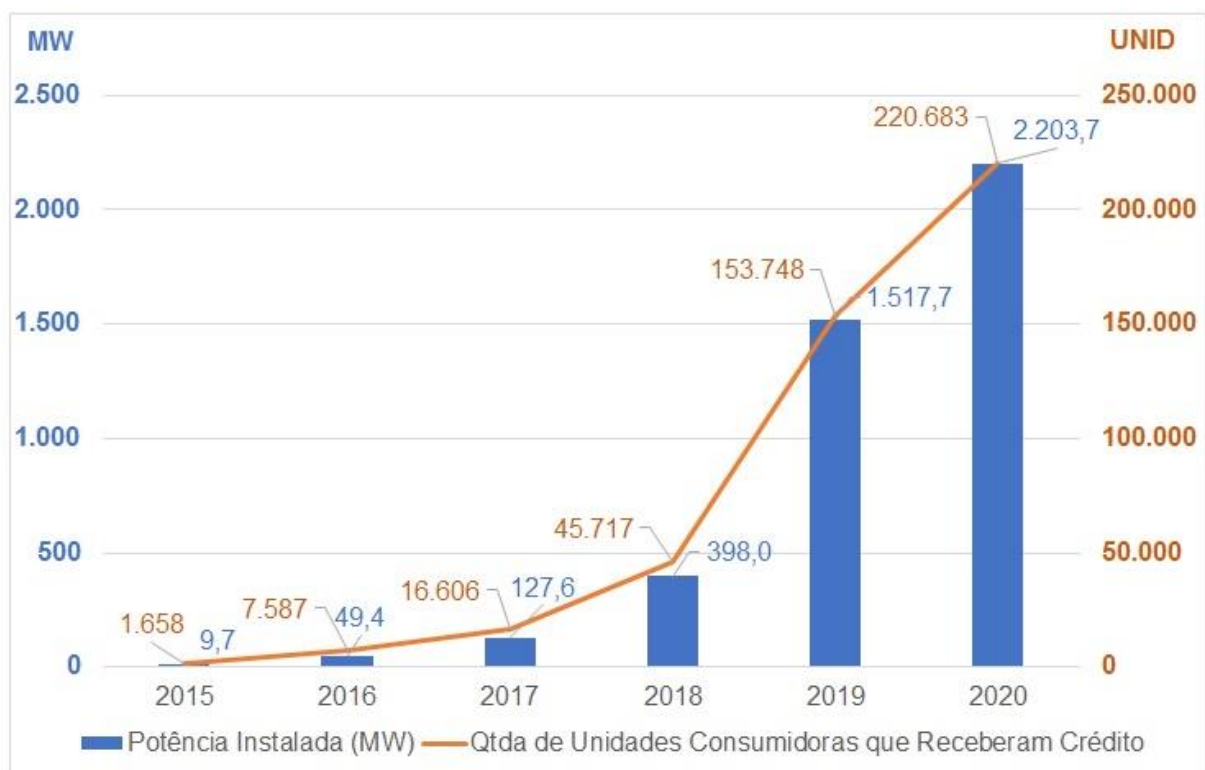
Figura 15 – Usina Fotovoltaica Município de Antônio Dias - MG



Fonte: E3R – Energias Renováveis – (Acervo E3R)

A energia fotovoltaica já fornece para o SIN (Sistema Interligado Nacional) uma grande quantidade de energia, com grande tendência de cenários de maior participação dessa fonte de energia no sistema. Assim, o mercado que se consolida com a evolução do segmento, gera empregos, em torno de 30 postos de trabalho diretos e 90 indiretos (SENA, 2018) e conseqüentemente renda, de forma descentralizada. A cadeia produtiva do segmento, ainda muito pequena, tende a se tornar maior, com a possibilidade de geração de empregos, mesmo com toda a retração da economia, oriunda da Pandemia de COVID-19, que assolou o Mundo e com ele o Brasil. No Gráfico 15, é possível perceber a evolução significativa da geração distribuída nos últimos 5 anos, até novembro de 2020.

Gráfico 15 – Evolução da Potência Instalada em Geração Distribuída e Unidades Consumidoras que Receberam Crédito.



Fonte: (ANEEL, 2020b) (Modificado)

A cadeia produtiva brasileira é ainda muito incipiente, com poucos investidores nacionais, ao se comparar com o volume comercializado de origem importada. O mercado nacional, não consegue competir com os preços dos produtos importados.

As possibilidades para o avanço da tecnologia fotovoltaica no Brasil são inúmeras, já que o país possui grandes reservas de silício metalúrgico, com elevado grau de pureza, elemento fundamental na composição do painel solar fotovoltaico.

O mercado doméstico pode favorecer a indústria nacional em virtude da volatilidade do dólar, que exige dos importadores compras à vista, diminuindo significativamente a margem destes investidores. O dólar em 2020, subiu em torno de 36% de janeiro a novembro, impactando consideravelmente o valor do produto importado, criando uma paridade próxima com o produto nacional, que geralmente apresentava custo 15% acima do produto importado.

Porém, é importante salientar que os fabricantes nacionais também importam insumos e matérias primas, como o próprio silício, para a montagem dos painéis solares. O minério é exportado *in natura* para fora, purificado e então adquirido como Silício Solar com 99,9993% de pureza, por meio de processos de eletrólise que consomem uma quantidade significativa de energia.

Existem algumas linhas de pesquisa, inclusive no Brasil, que buscam purificar o silício em escala, por meio de uma rota metalúrgica, reduzindo o custo do processo em torno seis vezes em relação ao custo atual.

Finalmente, percebe-se que existe um ganho ambiental, socioeconômico e estratégico no uso da tecnologia fotovoltaica, objeto do nosso estudo (figura 16).

Figura 16 – Benefícios da Energia Fotovoltaica



Fonte: Infográfico (ABSOLAR, 2020)

4. METODOLOGIA

O estudo possui natureza aplicada com objetivo explicativo e exploratório na contextualização dos cenários atuais. O objeto claramente é uma pesquisa de campo, oriundo de um estudo de caso como procedimento técnico, reportando uma perspectiva interpretativa resultando em uma abordagem quantitativa do tema.

A pesquisa faz referência à um estudo de consultoria de eficiência energética da empresa E3R Energias Renováveis em uma unidade de captação de leite de uma indústria do ramo alimentício que será comentado como desenvolvimento aplicado.

A empresa do ramo alimentício solicitou um orçamento de um sistema fotovoltaico, conectado à rede, dentro do sistema de compensação de geração distribuída, permitido pela Resolução Normativa nº 482 de 2015 da ANEEL. A E3R apresentou o orçamento em questão e fez uma contraproposta. O objetivo era desenvolver um DE (Diagnóstico de Eficiência Energética) e verificar potenciais soluções para reduzir o consumo de energia elétrica da empresa. Após o estudo, a E3R iria comparar o investimento da implantação do sistema exclusivamente fotovoltaico com o investimento de um sistema conjugado.

A empresa aprovou a contraproposta da consultoria e solicitou que efetivassem um quadro comparativo de investimento e resultados para as tecnologias aplicadas.

O estudo ocorreu na unidade de Araxá em Minas Gerais. Foram feitas várias visitas ao local no intuito de montar uma matriz de consumo de energia elétrica. O objetivo da consultoria era levantar alternativas de economia de energia elétrica no atual quadro de consumo. A consultoria analisou potenciais consumos de energia, elaborando uma curva ABC de consumo, ou seja, organizando de forma decrescente os equipamentos que representavam maior consumo.

A metodologia aplicada no estudo se resume em apurar o consumo específico de equipamentos, máquinas e motores na planta

A apuração dos consumíveis foi realizada por meio da estimativa do consumo levando em consideração o tempo de operação e a potência dos equipamentos, máquinas e motores.

A E3R visitou a unidade, com o objetivo de conhecer o processo e identificar os pontos de consumo. Nestas visitas, a E3R mapeou o processo junto ao administrador da unidade, fazendo o levantamento dos pontos consumidores e estimando, com auxílio do administrador, o tempo de operação dos consumíveis de energia elétrica. Este estudo seguiu a metodologia de aplicação caracterizada a seguir.

As visitas técnicas foram agendadas previamente com o responsável pela unidade e foram efetivadas nos dias 13, 14 e 15 de fevereiro. As informações coletadas foram transmitidas pelo gestor e coletadas, em campo, pelo consultor da E3R. A apuração do cenário, resultou em um conjunto com fotos e análises realizadas, em um documento que foi construído em conjunto, formalizado em uma ata da visita técnica.

A ata, construída em quatro mãos, resume sucintamente o processo, identifica os pontos de consumo e possibilita a construção de um fluxograma de todo o processo na unidade. O fluxograma mapeia os pontos de consumo e possibilita a identificação dos equipamentos que apresentam maior uso de energia, criando uma curva ABC do consumo, ou seja, uma curva decrescente do gasto de energia dentro do processo e conseqüentemente dentro da unidade.

A Curva ABC, revela os maiores consumidores de energia e nos possibilita focar atenção nesses pontos. A sugestão de melhoria é concentrada, então, nos processos de maior relevância, ou seja, maior impacto, que por sua vez, vão proporcionar melhor eficiência com maior retorno financeiro, reduzindo assim o pay-back do investimento.

Concomitante à análise dos dados das unidades, foi avaliado, também, as respectivas contas de energia, para entender seu histórico de consumo, seus contratos e custos. Essa informação auxiliou na composição do cálculo do pay-back para investimentos de sistemas de eficiência energética sugeridos.

A análise final projeta um cenário de economia relevante com baixo investimento e retorno rápido, sugerindo propostas de eficiência energética, envolvendo soluções com tecnologias fotovoltaicas e termossolares.

Em síntese, a metodologia aplicada se baseia em uma visita técnica, que originou um relatório de diagnóstico, do qual se extraiu um fluxograma de processo de onde foi possível mapear os pontos de consumo. A partir deles gerou-se uma curva decrescente do uso da energia, para conhecermos o ponto de maior impacto. A

análise das contas de energia revelou o valor do potencial impacto e, finalmente, como objetivo do estudo, a E3R propôs a substituição da obtenção da energia necessária, aplicando projetos de eficiência energética na unidade.

5. DESENVOLVIMENTO – DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE UMA PLANTA DE ARMAZENAMENTO DE LEITE.

A maior competitividade do mercado, somado ao ambiente de estagnação econômica dos últimos 5 anos, gera uma condição desfavorável para a indústria como um todo.

A indústria alimentícia também sofre com esse cenário de falta de crescimento, que impossibilita investimentos significativos no setor, em virtude da baixa expectativa de melhoria.

O segmento de derivados do leite, acompanha essa tendência e precisa manobrar de forma eficiente sua logística de captação e distribuição dos produtos. Diferente dos produtos acabados estocáveis, o leite necessita de agilidade, dinamismo e eficiência para manipulá-lo, sem perder qualidade.

As ações fazem das distribuidoras, empresas especializadas, agregando nos seus processos logísticos excelência e eficiência. O controle do custo total, é essencial para a sobrevivência das empresas deste setor e a administração equilibrada de custos e despesas se revela uma ferramenta essencial para a longevidade das empresas do segmento de laticínios.

Além de uma gestão logística muito bem equilibrada, um ponto que se concentra mais atenção é a eficiência energética. O controle dos energéticos é fundamental para reduzir custos e despesas, oriundos de potenciais desperdícios.

A empresa, objeto do nosso estudo, possui o compromisso com seus clientes de manter qualidade e preço justo para os consumidores. Evitar desperdícios é essencial para a sobrevivência da empresa e a torna cada vez mais competitiva.

Justamente em virtude deste empenho na busca de soluções mais eficientes, mais produtivas, agregando mais valor com menos recursos que a E3R foi contratada, pois, a E3R atua na capacidade de reduzir desperdícios, apresentando soluções viáveis e com alto potencial de eficiência.

A planta analisada pela E3R foi a planta de Araxá, em Minas Gerais, onde o plano era diagnosticar potenciais ações, com objetivo de sugerir intervenções para a aplicação de projetos de eficiência energética.

A E3R aplicou a metodologia sugerida pela EERE/EUA (Eficiência Energética e Energia Renovável) para conseguir a apuração dos consumíveis e a partir desta informação, tabulou os dados, interpretando-os e apresentando ao cliente

a conclusão do estudo, as possibilidades de melhoria, sugerindo ações factíveis e com bom retorno financeiro.

O diagnóstico, também resulta em propostas comerciais de aplicação de tecnologias termossolares e fotovoltaicas, apresentando de forma objetiva a memória de cálculo a qual se baseiam as propostas. Finalmente, a E3R apresenta a solução completa para o cliente, reduzindo em mais 99% seu consumo de energia elétrica, com retorno financeiro menor do que 3 anos.

A visita técnica resultou em um documento ata, no intuito de identificar todo o processo da unidade. A ata explica de forma sucinta o roteiro definido pelo leite na planta, desde a sua entrada, coleta, estocagem e expedição para a usina. Além deste processo, foram identificados, todos os consumíveis de maior relevância, para análise e caracterização das etapas do processo que mais impactavam no consumo da unidade.

A íntegra da ata se encontra a seguir, neste documento, resultado da perícia realizada pelo consultor da E3R junto ao administrador da unidade de captação do leite.

Algumas informações foram protegidas, no intuito de não revelar ou expor o cliente.

Tabela 05 - Ata De Diagnóstico Eficiência Energética

DE – DIAGNÓSTICO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA					
LOCAL	██████ - ARAXÁ	DATA	13/02/2019	HORÁRIO	10:30
PARTICIPANTES					
NOME			E-MAIL		SETOR
Tiago Nascimento			tiago@e3r.com.br		E3R
DESCRIÇÃO DO PROCESSO					
01	Veículo T1 chega carregado com 6 a 23 mil litros de leite e passa na balança.				
02	O toco em torno de 8 mil e o conjunto toco mais julieta 22 mil litros de leite.				
03	Na plataforma, coleta-se amostra de cada compartimento que é encaminhada				
04	ao laboratório para análise que usa aparelhos para verificar a qualidade do leite.				
05	O veículo aguarda em torno de 20 minutos a análise para prosseguir.				
06	O volume total do mês é de 3,5 milhões de litros, em torno de 6 mil litros é não				
07	conforme e é direcionado para o descarte. O leite bom agora será estocado.				
08	Engata então o mangote no tanque exotérmico do veículo ligado a uma bomba				
09	centrífuga que puxa o leite para o balão de estocagem. O leite chega em torno				
10	7 °C e passa pelo resfriador, antes de ir para o balão, com ganho de 3 a 4°C.				
11	A planta possui hoje 5 balões de 20 mil litros. A temperatura do leite precisa				
12	ficar armazenado em até 4°C, e fica armazenado no máximo 5 horas.				
13	O sistema de resfriamento antes de chegar do balão passa por uma placa de				
14	troca de calor com água fria entre -0,5 a 1°C com água. O resfriamento é feito				
15	com SABROE com amônia. O balão não é resfriado, mas possui isolamento				
16	térmico. O veículo após a descarga passa por uma limpeza interna do tanque.				
17	A motobomba joga água no pré-enxague, solução ácida e básica enquanto a				
18	outra motobomba faz a sucção dos fluidos. O veículo (T1) está liberado para				
19	nova coleta. O veículo que vai levar o leite para fábrica (T2) passa pela				
20	balança, vai para o carregamento, nos balões e é usada uma bomba para				
21	retirar o leite e carregar o veículo.				
RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS					
23	Laboratório clínico – 1 Ar condicionado e aparelhos – 18 horas				
24	2 Motobombas com vazão 5HP 20m³/h para descarregar – 10 horas				
25	Resfriador a placa – 1 motobomba com tanque gelo que leva o frio para o				
26	trocador de calor, 1 compressor com vaso de amônia. – 8 horas				
27	Central CIP (limpeza do veículo T1) – 2 motobombas 18m³/h – 3 horas				
28	Carregamento do veículo T2 – 2 motobombas 7,5HP – 6 horas				
29	Escritório administrativo - 2 aparelhos de ar condicionado janela				
30	2 Poços artesianos com motobombas de 4 cv cada funcionando 16h/dia				
31	Consumo de água 25m³/dia com reservatório de 90m³				
32	2 chuveiros com 2 banhos por dia				
33	Func.3 salas: administrativo, 3 salas: faturamento, 6 plataformas e 4 laboratórios				
34	Tanque de 1500 L de água a 85°C com 2 resistências de 7 kW ligadas 7 horas				
35	Agitador no tanque de acumulação com motor de 2 CV – 5 min/hora				
36	Tanque com solução ácida de 1000 L a 60°C com 2 resistências de 7kW 8h/dia.				
37	Tanque com solução básica 1000 L a 85°C com 2 resistências de 7kW 16h/dia.				
38	Rede pressurizada com motobomba 5 CV18h/dia.				

Fonte: E3R – Energias Renováveis

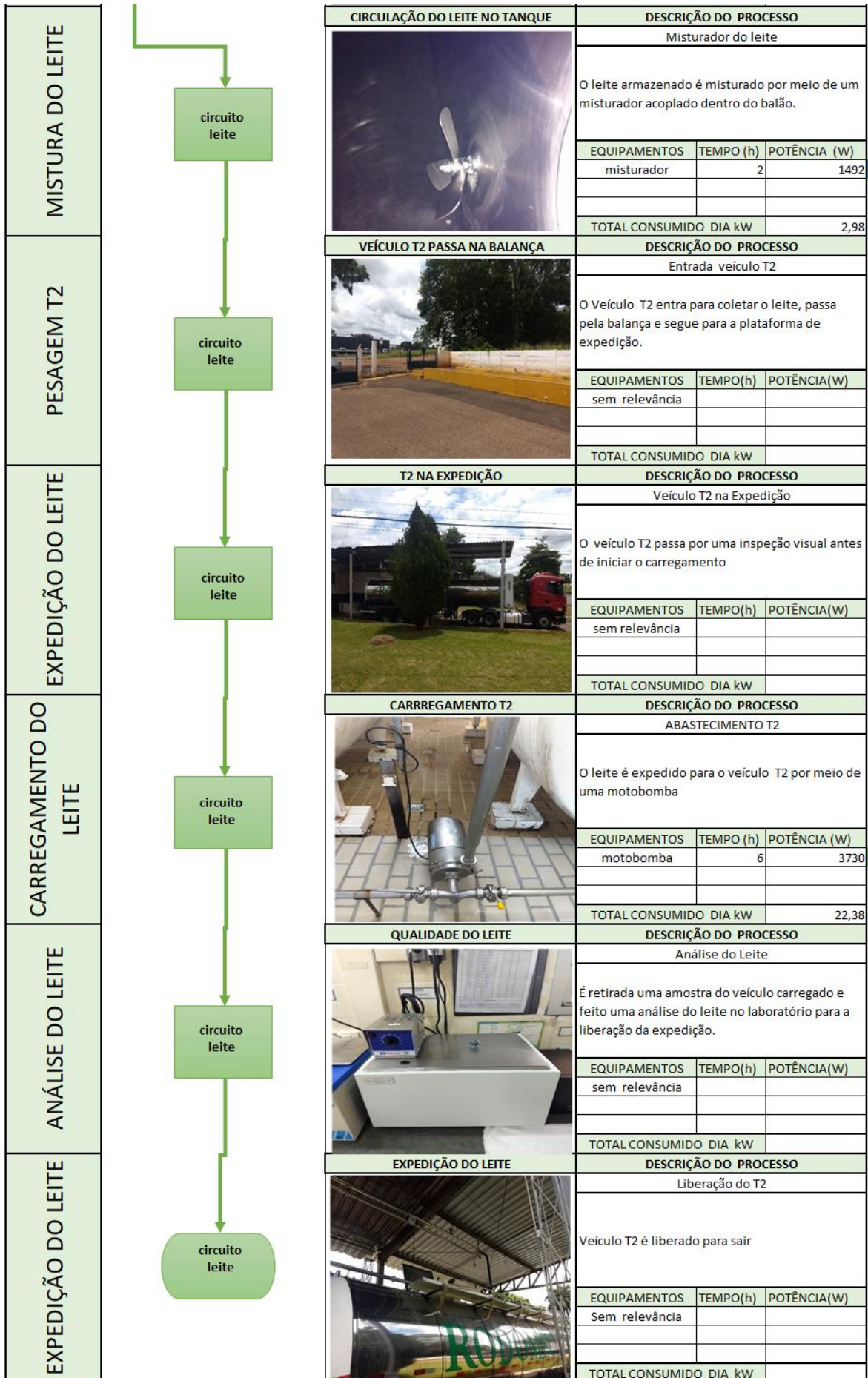
Tabela 06 - Fluxograma de Processo

Total consumo processo kW/dia 746,766

	FLUXOGRAMA	PROCESSO DE PESAGEM	DESCRIÇÃO DO PROCESSO																		
RECEPÇÃO DO LEITE			BALANÇA Os veículos T1 chegam carregados de leite e passam pela balança, para fazer a pesagem. <table border="1"> <thead> <tr> <th>EQUIPAMENTOS</th> <th>TEMPO(h)</th> <th>POTÊNCIA (W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>sem relevância</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)</td> </tr> </tbody> </table>	EQUIPAMENTOS	TEMPO(h)	POTÊNCIA (W)	sem relevância			TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)											
EQUIPAMENTOS		TEMPO(h)	POTÊNCIA (W)																		
sem relevância																					
TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)																					
ANÁLISE DO LEITE		COLETA DE AMOSTRA		DESCRIÇÃO DO PROCESSO PLATAFORMA RECEBIMENTO Os veículos T1 seguem para a plataforma de recebimento. <table border="1"> <thead> <tr> <th>EQUIPAMENTOS</th> <th>TEMPO(h)</th> <th>POTÊNCIA (W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>sem relevância</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)</td> </tr> </tbody> </table>	EQUIPAMENTOS	TEMPO(h)	POTÊNCIA (W)	sem relevância			TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)										
EQUIPAMENTOS		TEMPO(h)	POTÊNCIA (W)																		
sem relevância																					
TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)																					
RESULTADO DA ANÁLISE	O LEITE ESTÁ CONFORME?		DESCRIÇÃO DO PROCESSO LABORATÓRIO Ao chegar na baía de descarga, é realizado a coleta de uma amostra do leite de dentro do veículo T1 e levado para o laboratório de análise. <table border="1"> <thead> <tr> <th>EQUIPAMENTOS</th> <th>TEMPO(h)</th> <th>POTÊNCIA (W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Geladeira</td> <td>10</td> <td>145</td> </tr> <tr> <td>Estufa</td> <td>6</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Crioscópio ITRMK540</td> <td>12</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Banho Maria</td> <td>6</td> <td>1200</td> </tr> <tr> <td colspan="3">TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)</td> </tr> </tbody> </table>	EQUIPAMENTOS	TEMPO(h)	POTÊNCIA (W)	Geladeira	10	145	Estufa	6	500	Crioscópio ITRMK540	12	100	Banho Maria	6	1200	TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)		
EQUIPAMENTOS	TEMPO(h)	POTÊNCIA (W)																			
Geladeira	10	145																			
Estufa	6	500																			
Crioscópio ITRMK540	12	100																			
Banho Maria	6	1200																			
TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)																					
DESCARTE NÃO CONFORME		DESCARTE DO LEITE	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PLATAFORMA RECEBIMENTO Após a análise o leite é enviado para a estocagem, se estiver não conforme, o que raramente acontece, será descartado. <table border="1"> <thead> <tr> <th>EQUIPAMENTOS</th> <th>TEMPO(h)</th> <th>POTÊNCIA(W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>sem relevância</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)</td> </tr> </tbody> </table>	EQUIPAMENTOS	TEMPO(h)	POTÊNCIA(W)	sem relevância			TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)											
EQUIPAMENTOS	TEMPO(h)	POTÊNCIA(W)																			
sem relevância																					
TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)																					
EXTRAÇÃO DO LEITE DO T1		RECEBIMENTO DO LEITE	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PLATAFORMA RECEBIMENTO O leite é descarregado do veículo T1 por motobombas para o circuito de armazenamento. <table border="1"> <thead> <tr> <th>EQUIPAMENTOS</th> <th>TEMPO(h)</th> <th>POTÊNCIA(W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>motobombas</td> <td>6</td> <td>3730</td> </tr> <tr> <td colspan="3">TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)</td> </tr> </tbody> </table>	EQUIPAMENTOS	TEMPO(h)	POTÊNCIA(W)	motobombas	6	3730	TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)											
EQUIPAMENTOS	TEMPO(h)	POTÊNCIA(W)																			
motobombas	6	3730																			
TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)																					



O CARREGAMENTO T1 FINALIZOU?	DESCRIÇÃO DO PROCESSO		
	PLATAFORMA RECEBIMENTO		
	Ao final do processo o veículo T1 segue para higienização.		
	EQUIPAMENTOS	TEMPO(h)	POTÊNCIA(W)
	sem relevância		
	TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)		
PRÉ-ENXAGUE T1 E LINHA	DESCRIÇÃO DO PROCESSO		
	PLATAFORMA RECEBIMENTO		
	O veículo T1 passa por um pré-enxague com água a 85°C, proveniente de um tanque de 1500l, aquecido com 2 resistências.		
	EQUIPAMENTOS	TEMPO(h)	POTÊNCIA(W)
	Motobomba	6	3730
	Resistências	6	14000
	TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)		106,38
PROCESSO CIP	DESCRIÇÃO DO PROCESSO		
	PLATAFORMA CIP		
	Realiza-se o enxague do veículo T1 com solução básica ou ácida. Esses fluidos ficam armazenados em tanques de 1000l aquecidos com resistências elétricas		
	EQUIPAMENTOS	TEMPO (h)	POTÊNCIA (W)
	resist. Banho ácido	6	14000
	resist. Banho básico	6	14000
	TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)		168
VEÍCULO T1 LIMPO?	DESCRIÇÃO DO PROCESSO		
	PLATAFORMA CIP		
	2 motobombas são responsáveis pelo envio e sucção das soluções ácido/básica que fazem a higienização do veículo T1.		
	EQUIPAMENTOS	TEMPO (h)	POTÊNCIA (W)
	motobombas	6	7460
	TOTAL CONSUMIDO DIA (kW)		44,76
VEÍCULO RETORNA PARA COLETA	DESCRIÇÃO DO PROCESSO		
	Liberação de T1		
	O veículo limpo é liberado para nova coleta.		
	EQUIPAMENTOS	TEMPO	POTÊNCIA
	sem relevância		
	TOTAL CONSUMIDO DIA kW		



Consumos Gerais		Atendimento	DESCRIÇÃO DO PROCESSO		
			Outros Consumos		
			A unidade possui uma estação de tratamento ETE e pressurizadora de linha, além da iluminação do pátio, que representam consumos significativos a considerar		
			EQUIPAMENTOS	TEMPO(h)	POTÊNCIA(W)
			Iluminação	10	5000
	ETE	2	11000		
	Pressurizador	24	1500		
	TOTAL CONSUMIDO DIA kW		108		

Fonte: E3R Energias Renováveis

Tabela 07 – Consumo da Unidade de Captação do Leite

Consumo Total Dia (kW)	854,77
Consumo Total Mensal (kW)	25.642,98
Consumo Total Anual (kW)	307.715,76
Valor anual de energia	R\$ 219.457,02

Fonte: E3R Energias Renováveis

O valor da energia anual foi calculado considerando um valor de R\$ 0,71/kW, conforme memória de cálculo a seguir referente à conta de energia.

O histórico de consumo médio mensal da unidade, no último ano, precisa convergir com o valor encontrado pela E3R. A análise da conta de energia fornecida pelo cliente, foi comparada com o estudo de dimensionamento apresentado no cronograma. Foi considerado a sazonalidade do mês específico estudado *in locu*, com seu respectivo desvio padrão da variação dos consumos no decorrer dos meses.

O cliente confirmou que neste último ano, não houve nenhuma situação adversa que justificasse alguma intervenção de análise no histórico de consumo. A variação existente no consumo no decorrer do ano, se justifica pela sazonalidade do clima e da dependência da refrigeração no processo do cliente, onde se percebe um maior consumo em Janeiro e menor consumo em Junho, em virtude da influência significativo do compressor Sabroe na matriz de consumo do cliente, responsável pela refrigeração do leite.

Tabela 08 – Histórico de Consumo da Conta de Energia

Análise da conta de energia				
Histórico do Consumo mensal				
Mês	Demanda(kW)		Energia(kWh)	
	HP	HFP	HP	HFP
Fev/19	89	95	3.116	24.354
Jan/19	89	95	2.624	26.322
Dez/18	89	93	2.706	25.010
Nov/18	80	93	2.788	24.108
Out/18	92	92	2.378	22.222
Set/18	92	92	2.952	21.402
Ago/18	92	92	2.624	21.812
Jul/18	92	93	2.624	22.550
Jun/18	92	90	2.296	19.844
Mai/18	65	87	2.624	23.042
Abr/18	84	100	2.952	23.944
Mar/18	84	100	2.378	22.304
Custo tarifa R\$	0	19,91	2,11	0,44
Média Mensal	87	94	2.672	23.076
Média diária consumo HP HFP (kWh)			89,0611	769,206
Média diária consumo total (kWh)			858,27	
Valor da conta referência fev/19			R\$ 20.234,37	
Consumo total fev/19 (kWh)			28.372	
Valor(R\$) / Consumo (kW)			R\$ 0,71	
Valor da conta anual			R\$ 220.355,80	

Fonte: E3R Energias Renováveis

A análise do histórico do consumo revela uma média de 858,27 kWh/mês, valor muito aproximado do consumo estimado de 854,77 kWh/mês. A variação do valor estimado para a média real do consumo foi de 0,4%, validando desta forma a estimativa de consumo projetada.

A análise dos dados resulta na obtenção da quantidade de energia por ponto de consumo, com essa informação, podemos agrupar de forma decrescente os equipamentos, máquinas ou motores que demandam maior consumo, para que possamos concentrar esforços nos pontos de maior relevância. Os pontos de maior consumo foram assim então assinalados:

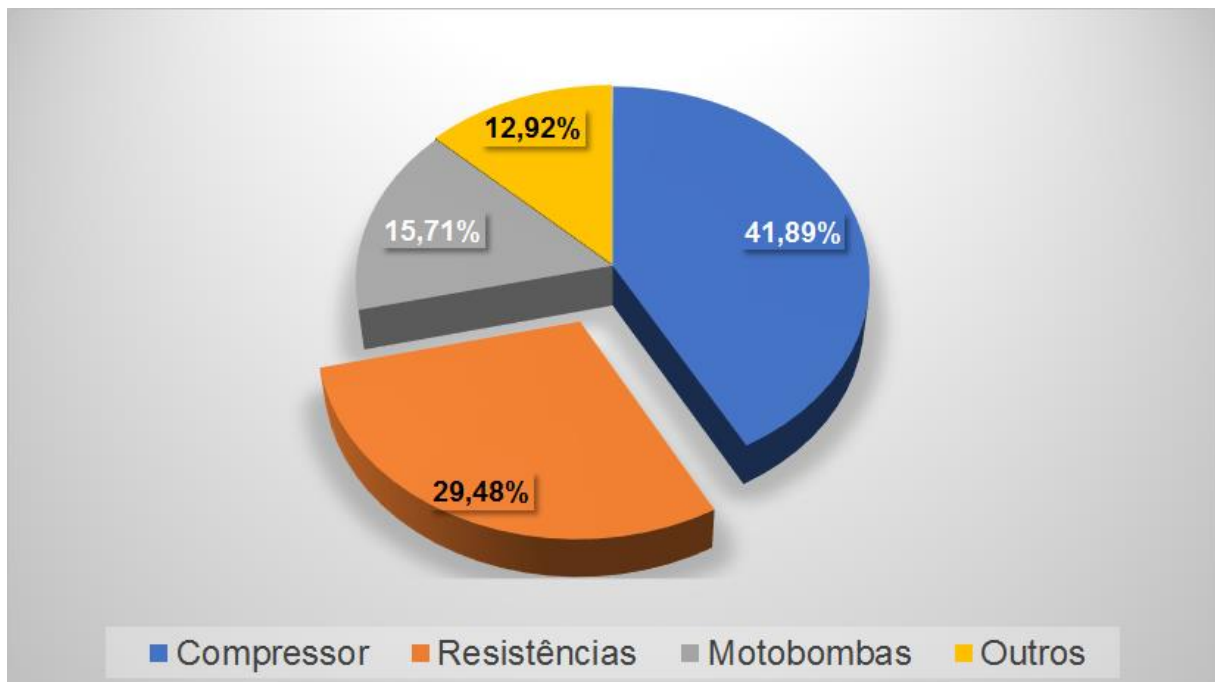
Tabela 09 – Curva Decrescente do Consumo da Unidade de Captação de Leite

Curva ABC do consumo					
Qtd	Potência kW	Tempo	Descrição	Consumo kWh	%
1	44,76	8	Compressor Sabroe	358,08	41,89%
6	7	6	Resistências	252	29,48%
6	3,73	6	Motobombas	134,28	15,71%
Total					87,08%

Fonte: E3R Energias Renováveis

A curva ABC vincula 87,08% do consumo de energia à ação do compressor (41,89%), resistências (29,48%) e motobombas (15,71%), nesta respectiva ordem.

Gráfico 16 – Matriz de Consumo



Fonte: E3R Energias Renováveis

O compressor resultou em uma análise aprofundada e específica no intuito de estabelecermos uma alternativa mais econômica, no entanto, a alternativa sugerida convergia para a substituição do isolamento de toda a tubulação hidráulica da água fria e do compressor por um equipamento mais novo, que apresenta menor perda e maior produtividade. Porém, o custo da alteração seria elevado, aumentando consideravelmente o prazo de retorno da operação, inviabilizando, por hora, essa possibilidade neste estudo.

As resistências elétricas apresentam uma boa oportunidade para aplicarmos soluções de eficiência energética, visto que, as temperaturas exigidas no processo CIP (*Clean In Pace*) são consideráveis, conforme mencionado na tabela 10. A sugestão do estudo é apresentarmos uma alternativa de aquecimento solar direto da água do pré-aquecimento e das soluções ácidas e básicas. O sistema termossolar atenderia à uma fração solar de 60%, ou seja, reduziria o consumo estimado das resistências em 60%, reduzindo consideravelmente o consumo na conta de energia, conforme a tabela abaixo.

Tabela 10 – Cálculo da Fração Solar

Cálculo da Economia com Ação do Sistema Termossolar			
Descrição	Consumo (kWh/dia)	Fração Solar	Economia (kWh)
Resistência	252	60%	151,20

Fonte: E3R Energias Renováveis

As motobombas possuem um consumo significativo e junto com o compressor são responsáveis por boa parte do incremento da energia reativa na rede. Em virtude do custo das motobombas é aconselhável a substituição das mesmas a partir do término da sua vida útil, não tentando prolongar o uso fazendo manutenções corretivas como rebobinar o motor, reduzindo o COP e com isso perdendo produtividade. Enfim, as motobombas, como o compressor não apresentam sugestões plausíveis com bom retorno financeiro para intervenções, salvo a necessidade de reparo, que demande a substituição dos equipamentos.

A alternativa mais viável com menor tempo de retorno financeiro seria a construção de uma usina fotovoltaica, interligada no sistema de compensação on grid para atender consumo atual, na qual seria necessária uma usina de 173,06 kWp. Porém, de acordo com resolução Aneel 482/2012, que trata de geração distribuída, a

potência instalada da usina fotovoltaica não pode ultrapassar a demanda contratada do cliente que opera no regime de tarifação horo-sazonal (THS). A demanda contratada da unidade   140 kW, portanto, a usina não poderia ultrapassar a potência de 140kWp.

Tabela 11 – Demanda Necessária a Incrementar

C�culo da Usina Fotovoltaica			
Consumo Médio mensal (kWh)	Potência Usina Necessária (kWp)	Potência da Usina Permitida (kWp)	Diferena a atender (kWp)
25.748	173,06	140,00	33,06

Fonte: E3R Energias Renováveis

Contudo, avaliando as possibilidades de eficiência energética, ao aplicarmos um projeto conjugado fotovoltaico e termossolar, podemos atender 99,65 % do consumo atual. A usina termossolar atende uma frao do consumo superior   diferena não atendida pela limitao da usina fotovoltaica.

Tabela 12 – Atendimento da Demanda com o Termossolar

Reduo da Necessidade da Potência Necessária com sistema termossolar			
Economia dia(kWh)	Economia m�s (kWh)	Economia usina (kW)	% atendido
151,20	4.611,60	37,20	21,49%

Fonte: E3R Energias Renováveis

O projeto termossolar sugerido para a reduo do consumo das resistências reduz por meio da frao solar a necessidade maior de energia, fazendo com que a alternativa híbrida agregue maior economia com melhor desempenho e, conseqentemente, menor tempo de retorno.

O atendimento do projeto híbrido termossolar-fotovoltaico pode ser bem entendido ao analisarmos o quadro a seguir:

Tabela 13 – Oferta do Sistema Conjugado

Oferta de Energia do Sistema Conjugado Fotovoltaico & Termossolar			
Potência Usina Necessária (kWp)	Potência da Usina Permitida (kWp)	Potência do Projeto Termossolar (kWp)	Potência total ofertada (kWp)
173,06	140,00	37,20	177,20

Fonte: E3R Energias Renováveis

A tabela 14 reporta a economia sugerida com o sistema conjugado.

Tabela 14 – Economia do Sistema Conjugado.

Investimento Referência	Investimento Usina Permitida	Investimento Termossolar	Economia Sugerida
R\$ 758.000,00	R\$ 510.000,00	R\$ 58.000,00	R\$ 190.000,00

Fonte: E3R Energias Renováveis

A usina exclusivamente fotovoltaica deveria ser de 173,06kWp, para atender a demanda da unidade, precificada em R\$ 700.000,00 (Setecentos Mil Reais), porém, para atender a resolução da ANEEL a usina deveria ter no máximo a demanda contratada de 140 kWp. A adequação da rede para o incremento desta demanda acrescenta ao custo o montante de R\$ 58.000,00 (Cinquenta e Oito Mil Reais), resultando em m montante de investimento de R\$ 758.000,00 (Setecentos e Cinquenta e Oito Mil Reais em um sistema exclusivo fotovoltaico. Contudo, a inviabilidade de atendimento no fotovoltaico devido ao limite imposto da demanda, pode ser atendido pela substituição da fonte de energia elétrica pelo solar, no caso do aquecimento dos tanques do processo CIP, substituindo a resistência elétrica por um sistema de aquecimento termossolar. O valor da proposta do sistema termossolar é de R\$ 58.000,00 (Cinquenta e Oito Mil Reais) resultando então, ao somarmos a proposta fotovoltaica com potência de 135,87 kWp, de R\$ 510.000,00 (Quinhentos e Dez Mil) com a termossolar e compararmos com a proposta exclusivamente fotovoltaica, teríamos uma economia de R\$ 190.000,00 (Cento em Noventa Mil Reais), exibido na figura 17. A economia é significativa, levando em consideração o tamanho do investimento que se paga em torno de 2 anos.

Figura 17 – Cenário Exclusivo Fotovoltaico x Cenário Termossolar & Fotovoltaico



Fonte: E3R – Energias Renováveis

A consultoria da E3R sugeriu a substituição de parte da fonte de energia elétrica para solar, no caso do aquecimento dos tanques do processo CIP, substituindo a resistência elétrica por um sistema de aquecimento termossolar, do tipo TEMAG, evitando assim a solicitação de aumento de carga e seu respectivo ônus.

O valor da proposta do sistema termossolar é de R\$ 58.000,00 (Cinquenta e Oito Mil Reais) e atende uma demanda de 37,2kW, reduzindo assim, a demanda total de energia elétrica que era de 173,06kW para 135,87kW, como a demanda contratada da empresa era de 140kW, a inclusão do sistema termossolar conjugado com o fotovoltaico elimina a necessidade de investimento no aumento da rede elétrica do cliente, na adequação da sua subestação.

A soma da proposta conjugada fotovoltaica e termossolar comparada com a proposta exclusivamente fotovoltaica, resulta em uma economia de R\$ 190.000,00 (Cento e Noventa Mil Reais), equivalente a 25,07% do valor investido. A economia é significativa, levando em consideração o tamanho do investimento que se paga em pouco mais de 2 anos.

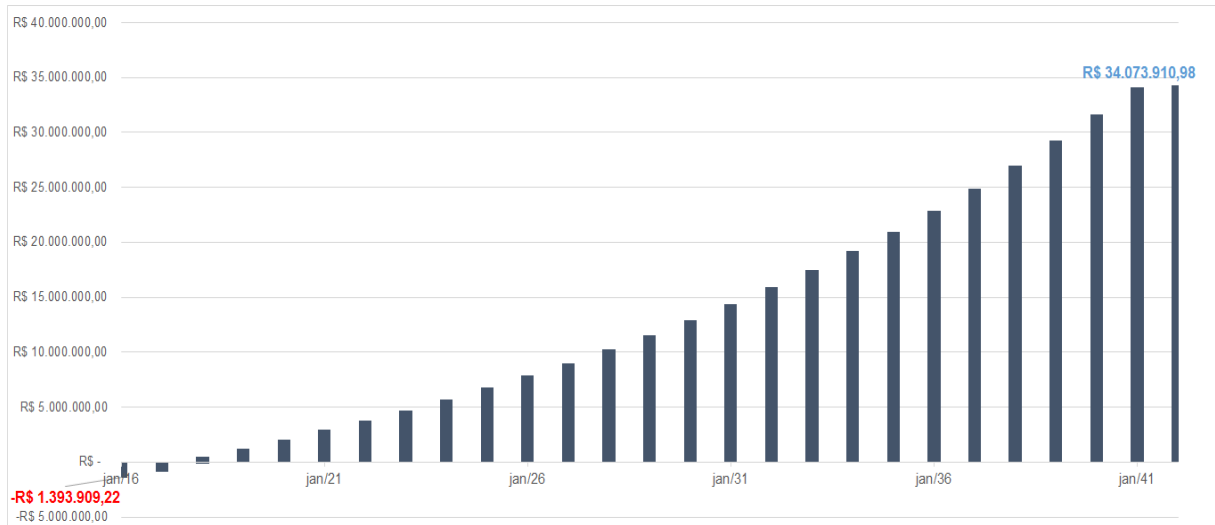
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento aplicável nos revela de forma prática, como a ação integrada de tecnologias distintas pode auxiliar na redução do consumo de energia elétrica. A substituição do Kilowatt termal (kW_{th}), usado em sistemas termossolares, pelo kilowatt pico (kW_p), usado em sistemas fotovoltaicos, representa um ótimo exemplo de eficiência energética, pois reduz a necessidade de energia na matriz elétrica.

A solução conjunta de eficiência energética, aplicado no desenvolvimento do estudo, atende uma redução de 91,41% na conta de energia. O mesmo estudo foi replicado em mais duas unidades industriais. Além da unidade de Araxá, as unidades de Conselheiro Lafaiete e Lavras, todas no Estado de Minas Gerais, foram contempladas com a sugestão da solução conjunta. O investimento final projetado para o sistema integrado fotovoltaico e termossolar nas 3 plantas foi de R\$ 1.393.909,22. Os valores potencialmente economizados na implantação dos sistemas conjugados nas três unidades com a alternativa integrada de eficiência energética somavam R\$ 523.013,51 em comparação com o valor do investimento exclusivamente fotovoltaico.

A parcela média de pagamento mensal da conta de energia das três unidades era de R\$ 58.141,45. O valor residual a pagar sobre as contas era referente à demanda contratada, equivalente a R\$ 4.984,81 nas 3 instalações. A economia real do sistema integrado representou um montante de R\$ 53.156,54 mensais, que geraram um fluxo de caixa positivo que retornava o investimento em um intervalo médio de 2 anos, projetando um cenário em torno de R\$ 34.073.910,98 de economia no decorrer de 25 anos do uso do sistema, conforme fluxo de caixa expresso no gráfico 17, a seguir.

Gráfico 17 – Fluxo de Caixa do Sistema Conjugado.



Fonte: E3R – Energias Renováveis

A viabilidade financeira do projeto é evidente e em alguns casos, a implantação não depende do capital próprio do cliente e sim, da sua capacidade de crédito. Existem linhas de crédito específicas com taxas aplicadas para projetos de eficiência energética, abaixo dos padrões do mercado, com taxas subsidiadas pelo Fundo Clima, do Banco Internacional do desenvolvimento (BID), que giram em torno de 0,45% a.m., aplicados pelo BNDES.

As instituições financeiras avaliam que o risco deste modelo de empréstimo é pequeno, já que não interfere na capacidade de pagamento do cliente. O montante mensal dirigido ao pagamento da parcela do empréstimo, que antes era direcionado à concessionária, em valor mais elevado, passa a ser recebido pela instituição financeira, que libera o crédito para o cliente, por um valor, na maioria das simulações, menor que o valor comprometido antes com a despesa da conta de energia.

6.1.OS EFEITOS SOCIOECONÔMICOS AMBIENTAIS DA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA TERMOSSOLAR NA SOCIEDADE

O desenvolvimento aplicado revela que o uso da energia termossolar traz benefícios relevantes para a sustentabilidade do planeta. A tecnologia do processo de aquecimento de um fluido pela radiação solar atende vários segmentos da indústria, do setor de serviços e, principalmente, do mercado residencial.

Alguns segmentos industriais podem reduzir o seu custo de combustível em até 70%, para aquecer fluidos em processos industriais. Contudo, além da implantação da tecnologia dentro do processo fabril, é possível também inserir o aquecimento de água para gerar economia relevante no atendimento de vestiários e restaurantes da empresa.

O efeito econômico na indústria se dá por meio da fração solar gerada pelo emprego das placas solares, reduzindo o custo de energia no processo. A redução desta despesa, melhora o fluxo de caixa da empresa, atuando como um fator social, pois, ao garantir melhor retorno financeiro para o empreendimento, garante também a manutenção dos empregos. Ambientalmente, o ganho agregado do uso da energia termossolar é alto, visto que, reduz consideravelmente a dependência da matriz na oferta de energia.

O setor de prestação de serviços engloba hotéis, pousadas, motéis e restaurantes, que necessitam de um grande volume de água aquecida no seu cotidiano. A água é usada para banhos na rede hoteleira e no processo de cozimento e limpeza no setor de restaurantes. A energia consumida para aquecer essa água é alta na matriz de consumo destas empresas. A economia gerada com o uso da energia solar auxilia, na mesma linha de pensamento da indústria, o lado social e ambiental indiretamente, ao evitar despesas na área econômica.

Finalmente, o setor residencial é o que mais se destaca em relação aos efeitos socioeconômicos do uso da energia termossolar. A economia oriunda do não pagamento da parcela da conta de energia, aumenta o poder de compra do cidadão. O aumento da capacidade de pagamento gera um fluxo monetário, no qual esse montante agora circula na vizinhança, ao invés de se concentrar na concessionária.

A circulação do dinheiro gera na comunidade uma melhor distribuição da renda, aliviando o desemprego e fortalecendo o comércio local. Enfim, o benefício econômico-social é significativo na aplicação da tecnologia termossolar.

Ambientalmente, a matriz de consumo diminui em parte a demanda por energia, abastecida agora por energia solar, com possibilidades de não acionamentos de térmicas e outras fontes poluentes, para atender a nova demanda, mais sustentável.

6.2. AS VANTAGENS DE PROJETOS CONJUGADOS: TERMOSSOLAR & FOTOVOLTAICO

O desenvolvimento aplicado auxilia na compreensão de quanto os projetos conjugados de tecnologias termossolar com fotovoltaico podem ser atraentes para os investidores. O custo do investimento em sistemas fotovoltaicos vem caindo no decorrer dos anos, porém, ainda é alto, de acordo com a política de vendas da E3R, uma casa que possui um consumo médio de 250 kWh/mês apresenta um orçamento de um sistema fotovoltaico em torno de R\$ 12.000,00 (Doze Mil Reais). Quando se consegue eliminar o consumo de energia elétrica de um determinado processo ou atividade, aplicando a tecnologia termossolar, o custo do investimento cai consideravelmente, em torno de 25%, ao comparar com o atendimento exclusivamente fotovoltaico.

Portanto, percebe-se que o investimento em termossolar é baixo, em torno de R\$ 4.000,00/kWh, comparado com o valor médio R\$ 6.000,00/kWp gerado no fotovoltaico para usinas menores que 3 kWp e a aplicação, quando possível das duas tecnologias juntas traz o custo total do investimento para baixo, reduzindo o tempo de retorno do investimento em aproximadamente 1 ano, de acordo com as simulações do software Retscreen.

Um bom exemplo, além do resultado para indústria, é considerar o consumo em uma casa, que pode reduzir consideravelmente o valor final do investimento com energia ao aplicar a tecnologia termossolar.

Imagine uma residência com 5 pessoas, que possui uma conta de energia em torno de R\$ 500,00. Vamos considerar que o valor do kWh é de R\$ 1,00, neste caso, essa família consome em torno de 500 kWh no mês. Ao se considerar uma usina fotovoltaica para essa família, residente em Belo Horizonte, o valor total do investimento seria em torno de R\$ 24.000,00, de acordo com a política de preços da E3R. Ofertando para essa família uma solução concomitante termossolar e fotovoltaica, o valor do investimento cai em torno de 30%. A confirmação dos números pode ser feita com a base de cálculo demonstrada na Tabela 15.

Tabela 15 – Memória de Cálculo do Consumo do Chuveiro

Pessoas	Banhos/dia	Tempo banho (h)	Tempo total(h)	Potência Média do chuveiro (kW)	Consumo Dia (kWh)	Consumo Mês Chuveiro (kWh)
A	B=2*A	C	D=B*C	E	F= D*E	G=30*F
5	10	0,2	2	5	10	300

Fonte: E3R – Energias Renováveis

Percebe-se que do consumo da família de 500 kWh, 300 kWh são provenientes da atividade do banho. O aquecedor solar evacuado modelo TEAAG com 30 tubos, fornece para esse tipo de demanda uma fração solar de 80%. A economia na conta de energia seria então 80% de 300 kWh, ou seja, um montante de 240 kWh economizados no final do mês. A nova demanda de energia seria, então, a diferença entre 500 kWh e 240kWh, resultando em um consumo de 260 kWh. A usina fotovoltaica para esse novo consumo teria o investimento em torno de R\$ 14.000,00, de acordo com a precificação da E3R.

A premissa que norteia a possibilidade de aplicação da tecnologia conjunta do sistema fotovoltaico e termossolar, parte do princípio de conhecer os modelos termossolares, que podem ser ofertados para os clientes. A avaliação das oportunidades de estabelecer menores custos, ao reduzir o consumo de energia elétrica para aquecer água é um processo fundamental de eficiência energética. O valor do investimento no sistema termossolar TEAAG, mais indicado para sistemas residenciais, ficaria por R\$ 4.000,00 instalado, conforme política de vendas da E3R. A soma dos investimentos seria de R\$ 17.000,00. Portanto, a partir desta simples análise, percebe-se uma economia de quase 30% na aplicação de um sistema conjugado em decorrência de um sistema exclusivo fotovoltaico.

Importante salientar que esse percentual não é fixo para todos os cenários, visto que, depende do perfil de consumo do usuário, como tempo e número de banhos e da influência que o consumo dos banhos possui sobre a conta de energia.

O presente estudo busca estimular o uso de energia solar no mercado brasileiro. A aplicação de conceitos de eficiência energética, começa a fazer diferença nos centros de custos das empresas, principalmente em virtude do crescimento exponencial da tecnologia fotovoltaica e com ele a redução dos custos do sistema.

Fica evidente que o uso conjugado da energia solar traz benefícios relevantes para os setores industriais e de serviços. Soma-se ao ganho econômico, a geração de energia limpa e sustentável, que agrega valor em virtude do marketing verde. O marketing verde é responsável por uma parcela consciente da população, que já escolhe os produtos oriundos de fabricantes e fornecedores preocupados com o meio ambiente.

A figura 18 retrata uma instalação residencial com o uso conjugado das tecnologias fotovoltaico e termossolar, reduzindo o consumo do chuveiro elétrico, utilizando o coletor TEAAG para aquecimento da água e assim reduzindo a potência instalada da usina fotovoltaica.

Figura 18 – Instalação Conjugada Termossolar e Fotovoltaica.

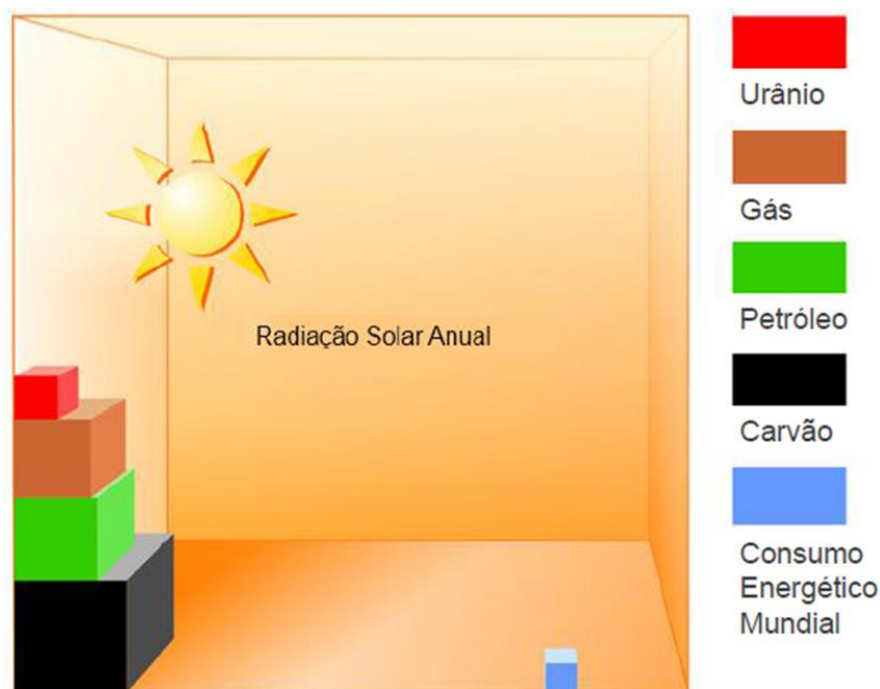


Fonte: E3R – Energias Renováveis – (Acervo E3R)

A linha de pesquisa sugerida para complementar esse estudo leva em consideração especificamente o setor residencial, onde o ganho econômico é muito atrativo, conforme mencionado no texto, de 25 a 30% e possui um forte apelo para instalações exclusivamente fotovoltaicas.

A alta e segura disponibilidade do recurso solar frente às outras fontes, favorece a aplicação das tecnologias híbridas, fotovoltaico e termossolar. A Figura 19 dá o real dimensionamento da oferta de energia por fonte, em relação ao consumo energético anual mundial.

Figura 19 - Oferta de Energia por Fonte e Consumo Energético Mundial Anual em Escala



Fonte: REN21 (2018)(Modificado)

O sistema conjugado em residências ainda é pouco difundido, em virtude do desconhecimento dos agentes envolvidos e dos clientes. Os integradores fotovoltaicos, em sua grande maioria, desconhecem a tecnologia termossolar e não a ofertam aos clientes. Assim, o cliente residencial adquire uma usina fotovoltaica sem ao menos receber um orçamento do sistema misto e pode deixar de economizar até 30% sobre o valor investido.

A necessidade de disseminar a informação das vantagens do sistema conjugado aos usuários residenciais é o principal motivo para a sugestão da continuidade do estudo. A falta de informação prejudica de forma considerável toda a

cadeia do segmento, desde o integrador, responsável pela instalação de sistemas fotovoltaicos até o cliente.

O integrador perde por não conseguir muitas vezes reduzir o valor da proposta e não conseguir efetivar a venda. O cliente perde por não conseguir adquirir um sistema com menor custo total, porém, com mais engenharia empregada. Por fim, toda a cadeia do sistema termossolar perde, por não atuar junto com o fotovoltaico e não conseguir participar do forte crescimento do mercado.

Esse tema apresenta pouca literatura a respeito do assunto, favorecendo pesquisas exclusivas no âmbito de estabelecer premissas consistentes referentes ao comportamento do mercado e os impactos ambientais, sociais e econômicos oriundos da aplicação da tecnologia conjugada em residências.

7. CONCLUSÃO

O desenvolvimento aplicado no presente estudo trouxe de forma clara os efeitos socioeconômicos e ambientais da implantação de um sistema misto em uma empresa de captação de leite.

O ganho econômico é proveniente da economia oriunda do investimento final. A instalação conjugada, na maioria das vezes, torna o investimento menor, pois, o sistema termossolar reduz o consumo de energia elétrica, geralmente proveniente de resistências, com o aquecimento solar. Consequentemente, reduz-se o tamanho da usina fotovoltaica, o que é bom já que o custo do kWp do sistema fotovoltaico geralmente é superior ao valor do kW_{th} proveniente do sistema termossolar, conforme já mensurado no estudo aplicado.

A mitigação ambiental é relevante em virtude da redução da necessidade de geração de energia pelas concessionárias – devido à geração distribuída do sistema conjugado – reduzindo desta forma a necessidade de entrar com as térmicas, movidas a combustíveis fósseis, na rede de distribuição.

A vantagem social é significativa, pois o envolvimento das duas tecnologias (fotovoltaica e termossolar) aquecem o mercado gerando empregos de forma descentralizada. A alta incidência solar em regiões mais áridas, favorece a contratação de mão de obra em locais que habitualmente são desprovidos de possibilidades de contratação. Além da geração de empregos, verifica-se também maior distribuição de renda, visto que, o valor da energia, antes concentrado no pagamento das concessionárias, passa a ficar disponível para o mercado local, auxiliando o crescimento regional.

As vantagens sustentáveis da aplicação das tecnologias agregadas para os usuários de energia elétrica, via concessionárias de energia, são relevantes. A geração distribuída favorece o investimento no Brasil inteiro e impõe uma agenda de crescimento em um cenário de estagnação.

O ponto de atenção fica na capacidade do mercado em ofertar o sistema misto, visto que, a limitação da capacitação dos integradores no entendimento da aplicação das duas tecnologias concomitantes é um fator restritivo para a propagação da tecnologia conjugada.

Portanto, a evolução do mercado da tecnologia conjugada possui traços consideráveis de sustentabilidade. Os desafios são expressivos, no intuito de atender

em amplitude, os respectivos impactos socioeconômicos e ambientais, da implantação da tecnologia mista, no mercado brasileiro. Os índices de crescimento da energia solar, se continuarem tão favoráveis, podem reverter a atual situação de estagnação do crescimento econômico brasileiro para uma nova era de crescimento, a era da revolução sustentável.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. **Infográfico - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>>. Acesso em: 24 maio. 2020.

ANEEL. **Resolução Normativa 482/2012** Agência Nacional de Energia Elétrica Brasil, 2012.

ANEEL. **Resolução Normativa 657/2015** Agência Nacional de Energia Elétrica Brasil, 2015.

ANEEL. **SIGA**. Disponível em:

<<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>>. Acesso em: 20 dez. 2020a.

ANEEL. **Evolução da Geração Distribuída de Sistemas Fotovoltaicos**. Disponível em:

<<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTl1MjItN2E5MzBkN2ZlMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>>. Acesso em: 25 dez. 2020b.

ANTONIUS BERNARDUS SCHAAP. **Coletor Solar Que Tem Um Armazenador de Calor Integrado**, 2010. Disponível em:

<<https://patentscope.wipo.int/search/pt/detail.jsf?docId=BR21161999&tab=NATIONALBIBLIO>>

AVALLONE, E. Estudo de um coletor solar, tipo tubo evacuado modificado, utilizando um concentrador cilíndrico carabólico (CPC). p. 203, 2017.

BANCO MUNDIAL. **Atlas Solar Global**. Disponível em:

<<https://globalsolaratlas.info/map>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

BEN. Balanço Energético Nacional 2017. **Empresa de Pesquisa Energética**, v. 1, 2017.

BRITO, M. C.; SILVA, J. A. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. **O Instalador**, v. 25, n. 676, p. 07, 2006.

CAMPOS, L. C. ANÁLISE DA ATRATIVIDADE DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO MERCADO DE MICRO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO E MÉDIO PORTES, VIA INDICADORES SOCIOECONÔMICOS. ESTUDO DE CASO: MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**, p. 0–55, 2019.

CARVALHO, M. M. DE; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. IMPACTOS ECONÔMICOS DA AMPLIAÇÃO DO USO DE ENERGIA SOLAR RESIDENCIAL EM MINAS GERAIS. p. 1–15, 2017.

CCEE. **InfoMercado Dados Gerais**, 2020.

CMBH. **Nova lei prevê utilização de energia solar em prédios públicos de BH**. Disponível em: <<https://www.cmbh.mg.gov.br/comunicação/notícias/2011/10/novalei-prevê-utilização-de-energia-solar-em-prédios-públicos-de-bh>>. Acesso em: 30 maio. 2019.

DEARING, J. A. Climate-human-environment interactions: Resolving our past. **Climate of the Past**, v. 2, n. 2, p. 187–203, 2006.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 3. ed.

Madison: John Wiley & Sons, 2006.

EPE. **PDE 2029 - PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA**. Brasília - DF: Ministério de Minas e Energia, 2019.

EPE. **Balanco Energético Nacional**. Brasília - DF: Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2020a.

EPE. Informe: Leilões de Energia Elétrica 2019. p. 1–9, 2020b.

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas Na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões Sobre Grandes Obras**. 1. ed. Manaus: INPA, 2015. v. 1

FILHO, P.; SOUZA, J. F.; PEREIRA, M. O licenciamento ambiental da mineração no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais: uma análise da implementação de medidas de controle ambiental formuladas em EIAs/RIMAs. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 2004.

GIBSON, R. B. BEYOND THE PILLARS : SUSTAINABILITY ASSESSMENT AS A FRAMEWORK FOR EFFECTIVE INTEGRATION OF SOCIAL , ECONOMIC AND ECOLOGICAL CONSIDERATIONS IN SIGNIFICANT DECISION-MAKING The core argument here is quite simple . Because sustainability is an essentially int. v. 8, n. 3, p. 259–280, 2006.

GOLDEMBERG, J. **What is the role of science in developing countries?** *Science*, 1998.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. **ENERGIA, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO**. 2^a ed. São Paulo: EDUSP, 2003.

GREENER. Estudo Estratégico Geração Distribuída - Mercado Fotovoltaico. **Greener**, v. 01, n. julho, p. 105, 2020.

IEA. **International Energy Outlook 2017** (U.S. Energy Information Administration, Ed.). Paris: IEA, dez. 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017>>.

IEA. **Renewables 2020 - Analysis and forecast to 2025**. Paris: International Energy Agency, 2020. Disponível em: <<https://webstore.iea.org/download/direct/4234>>.

KALOGIROU, S. A. Solar thermal collectors and applications. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 30, n. 3, p. 231–295, 2004.

LIFSET, R.; GRAEDEL, T. E. Theory of sustainability planning. In: **Planning for Sustainability**. Abingdon, UK: Taylor & Francis, 1997. p. 34–52.

MAIA, L. A. G. **Estudo Comparativo de Produção entre Centrais Fotovoltaicas de Silício Policristalino e Amorfo**. [s.l: s.n.].

MARTINS, F. R. et al. Solar energy scenarios in Brazil, Part one: Resource assessment. **Energy Policy**, v. 36, p. 2853–2864, 2008.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. DE S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geostacionário: o Projeto Swera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2004.

MARTINS JR. **Energia de Pluri-fontes e Bacia Hidrográfica**. Universida ed. Ouro Preto: Programa Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental, 2017.

MCCRONE, A. et al. **Global Trends In Renewable Energy Investment 2020** (ONU,

Frankfurt School, BloombergNEF, Eds.). Frankfurt: Frankfurt School, 2020. Disponível em: <www.fs-unep-centre.org>.

MICES. COMEX STAT - MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>>. Acesso em: 5 mar. 2020.

MMA. Acordo de Paris. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordode-paris>>. Acesso em: 22 maio. 2020a.

MMA. Fundamentos para INDC brasileira. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris/item/10710.html>>. Acesso em: 22 maio. 2019b.

MME. Governo Vai Incentivar Energia Solar: Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,governo-vai-incentivar-energiasolar,41038>>. Acesso em: 27 maio. 2019.

MORA, P.; ANTONELLO, I. O PLANEJAMENTO AMBIENTAL E A GEOGRAFIA DO TURISMO COMO INSTRUMENTOS PARA O DESENVOLVIMENTO: O CASO DO PROJETO CAMINHO DO PEABIRU. **REVISTA MULTIDISCIPLINAR DA UNIESP**, 2010.

MORRISON, G. L.; BUDIARDJO, I.; BEHNIA, M. Water-in-glass evacuated tube solar water heaters. **Solar Energy**, 2004.

NUNES, C. C. O Conceito de Segurança Energética. p. 1–63, 2013.

PAIVA, I.; CASTRO, N. J. DE; LIMA, A. TDSE 71: Aspectos teóricos e analíticos da Segurança Energética e os Desafios do Setor Elétrico Brasileiro. **GESEL- Grupo de Estudos do Setor Elétrico**, v. 71, p. 1–36, 2017.

PMB. Leis Municipais de Betim. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/mg/b/betim/lei-ordinaria/2010/500/5002/leiordinaria-n-5002-2010-dispoe-sobre-a-instalacao-de-sistema-de-aquecimento-por-energiasolar-nas-novas-edificacoes-do-municipio-de-betim.html>>. Acesso em: 27 maio. 2019.

PMBH. Leis Municipais de Belo Horizonte. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/mg/b/belo-horizonte/leiordinaria/2007/941/9415/lei-ordinaria-n-9415-2007-institui-a-politica-municipal-de-incentivoao-uso-de-formas-alternativas-de-energia-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 30 maio. 2019.

PMSP. Legislação Municipal de São Paulo/SP. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/sp/s/saopaulo/lei-ordinaria/2007/1445/14459/lei-ordinaria-n-14459-2007-acrescenta-o-item-9-3-5-asecao-9-3-instalacoes-prediais-do-anexo-i-da-lei-n-11228-de-25-de-junho-de-1992-codigo-deobras-e-edificacoes-e-dispoe-sobre-a->>. Acesso em: 30 maio. 2019.

PUEL, G. A. ANÁLISE DO IMPACTO FINANCEIRO NAS CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA DEVIDO À POPULARIZAÇÃO DA MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA. **UFSC**, p. 76, 2019.

REN21. Renewables 2020 Global Status ReportGlobal Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Paris: REN21 Secretariat, 2020. Disponível em: <<http://www.ren21.net/resources/publications/>>.

RODRIGUES, D. et al. **Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar**. Vitae Civi ed. Brasília - DF: Ministério do meio Ambiente, 2010. v. 01

RODRIGUES, D.; MATAJS, R. **Um banho de Sol para o Brasil**. São Lourenço da Serra - SP: Vitae Civillis, 2004.

SELMAN, P. Three decades of environmental planning: What have we really learned? **Planning sustainability**, p. 148–174, 1999.

SENA, R. M. DE. Relatório Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica- ProGD. p. 210, 2018.

SENADO. **ENERGIA SOLAR NO BRASIL: dos incentivos aos desafios**. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textospara-discussao/td166>>. Acesso em: 27 maio. 2019.

SERRAT, G.; CAMPOS, S.; GERAIS, M. A ANÁLISE INTERDISCIPLINAR DE PROCESSOS DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL NO ESTADO DE MINAS GERAIS: CONFLITOS ENTRE VELHOS E NOVOS PARADIGMAS. v. 22, n. 2, p. 267–282, 2010.

SILVA, A. C.; RODRIGUES, T. F. A segurança energética e um modelo para o futuro da Europa. **Relações Internacionais (R:I)**, n. 46, p. 11–24, 2015.

SILVA, J. M. C. DA et al. Impactos Ambientais da Exploração e Produção de Petróleo na Bacia de Campos. **IV Encontro Nacional da Anppas**, 2008.

TIBA, C. Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres. **Atlas Solarimétrico do Brasil**, v. 1, p. 111, 2000.

VILANI, R. M.; MACHADO, C. J. S. A competência da união para a elaboração de “plano nacional das atividades de exploração de petróleo e gás natural” no Brasil. **Ambiente & sociedade**, v. 13, n. 1, p. 187–206, 2010.