



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**



**CAMILLA PEREIRA SOARES**

**AVALIAÇÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA  
ASSOCIADOS AO USO DE UM FORNO SOLAR DO TIPO  
CAIXA**

**JOÃO PESSOA - PB  
2023**

**CAMILLA PEREIRA SOARES**

**AVALIAÇÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA  
ASSOCIADOS AO USO DE UM FORNO SOLAR DO TIPO  
CAIXA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis (PPGER) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) como requisito à obtenção do título de **Mestre em Energias Renováveis**.

Orientadora  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Monica Carvalho

Coorientadora  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvia Guillén-Lambea

**JOÃO PESSOA - PB  
2023**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S676a Soares, Camilla Pereira.

Avaliação dos gases de efeito estufa associados ao uso de um forno solar do tipo caixa / Camilla Pereira Soares. - João Pessoa, 2023.

81 f. : il.

Orientação: Monica Carvalho.

Coorientação: Silvia Guillén-Lambea.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR.

1. Energia solar. 2. Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). 3. Impactos ambientais. 4. Desenvolvimento sustentável. 5. Forno solar. 6. Cozinha solar. I. Carvalho, Monica. II. Guillén-Lambea, Silvia. III. Título.

UFPB/BC

CDU 551.521.37(043)



### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

**ATA nº 103** da Sessão de Defesa Dissertação do Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba.

Ao vigésimo sétimo dia do mês de julho de dois mil e vinte e três foi instalada a Banca de Defesa de Dissertação do Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas de forma ONLINE, as 14h00, via Google Meet ([meet.google.com/wfh-jzmo-nzn](https://meet.google.com/wfh-jzmo-nzn)) a que se submeteu a defesa pública de **CAMILLA PEREIRA SOARES**, matrícula **20211019821**, com o título “**AVALIAÇÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA ASSOCIADOS AO USO DE UM FORNO SOLAR DO TIPO CAIXA**”. A Comissão Examinadora esteve constituída pelos professores: MONICA CARVALHO (UFPB), SILVIA GUILLÉN-LAMBEA (UZ) e TAYNARA GEYSA SILVA DO LAGO (UFPB) e DANIELLE BANDEIRA DE MELLO DELGADO (IFBA). Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a candidata foi **aprovada** pela Comissão Examinadora. E, para constar, foi lavrada a presente ata, assinada pelos membros da Comissão.

Observações: A mestranda deve atender às sugestões e correções indicadas pela banca examinadora.

Membros da Banca Examinadora:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> **MONICA CARVALHO**  
Orientadora

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> **SILVIA GUILLÉN-LAMBEA**  
Coorientadora

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> **DANIELLE BANDEIRA DE MELLO DELGADO**  
Examinadora Externa

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> **TAYNARA GEYSA SILVA DO LAGO**  
Examinadora Interna

PPGER/CEAR/UFPB - Campus I, Caixa Postal 5115, CEP: 58051-900, João Pessoa - PB, Brasil.

Obs.(1): O discente deverá encaminhar a coordenação do PPGER, no prazo máximo de 45 dias a contar da data da defesa, os exemplares definitivos da dissertação.

Obs.(2): O docente deverá encaminhar a coordenação do PPGER, no prazo máximo de 20 dias a contar da data da defesa, o relatório de orientação para avaliação do colegiado.

## RESUMO

Diante da falta de autonomia energética voltada para a alimentação e das precárias condições de saúde e de qualidade de vida, somadas às mudanças climáticas, emerge uma alternativa: o forno solar; um dispositivo que faz uso da energia solar captada, direta ou indiretamente, e, desse modo, aquece e/ou cozinha alimentos. Com essa preocupação, o objetivo geral deste estudo é quantificar as emissões de gases de efeito estufa associadas à construção e operação de um forno solar do tipo caixa, aplicando a metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Para tanto, tomou-se por base um protótipo de forno solar que está em operação na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), onde foram coletados dados para a construção do inventário. Em seguida, utilizou-se o *software* Simapro 9.3.0.2, o método IPCC 2021 GWP 100a e a base de dados Ecoinvent para computar os impactos associados ao equipamento e à operação. Em uma análise comparativa, considerou-se o protótipo de forno solar e um forno convencional que consome GLP, sendo utilizados por uma família de referência, a partir de dois contextos diferentes da ACV (com ou sem reciclagem). Os resultados demonstraram que as emissões anuais do forno solar são de 23,40 kg CO<sub>2</sub>-eq e do forno convencional são de 127,62 CO<sub>2</sub>-eq, quando o descarte dos dispositivos é o aterro sanitário, por exemplo. Ao se considerar a reciclagem após o final a vida útil dos materiais, o impacto anual é de 17,90 CO<sub>2</sub>-eq para o forno solar e 123,11 CO<sub>2</sub>-eq para o forno convencional. Assim, se constata que, com o uso do forno solar, as emissões de gases são cerca de 80% menor que do forno convencional. Assim, é visível a contribuição que o uso do forno solar tem na mitigação de danos ao meio ambiente, mas, além disso, quando se associa seu uso à uma destinação correta dos materiais utilizados, prolonga a vida dos seus componentes, contribuindo com os objetivos do desenvolvimento sustentável.

**Palavras Chaves:** Avaliação de Ciclo de Vida, Impactos Ambientais, Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável, Energia Solar, Fogão solar, Cozinha solar.

## ABSTRACT

Faced with the lack of energy autonomy focused on food and the precarious conditions of health and quality of life, added to climate change, an alternative emerges: the solar oven; a device that makes use of the solar energy captured, directly or indirectly, and thus heats and/or cooks' food. With this concern, the general objective of this study is to quantify the greenhouse gas emissions associated with the construction and operation of a box-type solar furnace, applying the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. To this end, a prototype solar furnace that is in operation at the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN) was used, where data were collected for the construction of the inventory. Next, the Simapro 9.3.0.2 software, the IPCC 2021 GWP 100a method and the Ecoinvent database were used to compute the impacts associated with the equipment and operation. In a comparative analysis, we considered the prototype of solar furnace and a conventional furnace that consumes LPG, being used by a reference family, from two different contexts of LCA (with or without recycling). The results showed that the annual emissions of the solar oven are 23.40 kg CO<sub>2</sub>-eq and the conventional oven are 127.62 CO<sub>2</sub>-eq, when the disposal of the devices is the landfill, for example. When considering recycling after the end of the useful life of the materials, the annual impact is 17.90 CO<sub>2</sub>-eq for the solar oven and 123.11 CO<sub>2</sub>-eq for the conventional oven. Thus, it is found that, with the use of the solar oven, the gas emissions are about 80% lower than the conventional oven. Thus, it is visible the contribution that the use of the solar oven has in the mitigation of damage to the environment, but, in addition, when its use is associated with a correct destination of the materials used, it prolongs the life of its components, contributing to the objectives of sustainable development.

**Keywords:** Life Cycle Assessment, Environmental Impacts, Sustainable Development Goals, Solar Energy, Solar Cooker, Solar Kitchen.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cronologia de Conferências Ambientais. ....	17
Figura 2: Evolução dos objetivos, metas e indicadores de desenvolvimento sustentável. .....	18
Figura 3: Histórico da Carga de Energia ( $MW_{med}$ ) originários da Base de Dados Técnica do ONS. ....	19
Figura 4: Consumo final (tonelada equivalente de petróleo) no setor residencial ao longo do tempo. ....	20
Figura 5: Fontes de energia utilizadas em equipamento destinado para cozinhar, assar e/ou fritar alimentos. ....	21
Figura 6: Classificação de fornos solares. ....	23
Figura 7: Mapa brasileiro da irradiação global horizontal diária. ....	24
Figura 8: Visão mundial onde fornos solares são fabricados, vendidos, subsidiados e/ou distribuídos gratuitamente. ....	25
Figura 9: Visão geral das normas referente a ACV. ....	27
Figura 10: Fases da ACV. ....	28
Figura 11: Etapas operacionais para a fase de análise do inventário. ....	30
Figura 12: Desenho esquemático do protótipo estudado. ....	36
Figura 13: Suporte do forno após alterações. ....	38
Figura 14: Forno Solar do Tipo caixa no dia da pesagem dos componentes. ....	38
Figura 15: Forno convencional utilizado no estudo. ....	39
Figura 16: Fluxograma da ACV. ....	41
Figura 17: Alimentação do Software SimaPro para fazer a ACV. ....	42
Figura 18: Interface de alimentação de dados do <i>software</i> Simapro. ....	56
Figura 19: Emissões de gases de efeito estufa por kg de material. ....	57
Figura 20: Emissões de gases de efeito estufa para diferentes tipos de embalagens. .	57
Figura 21: Emissões de gases de efeito estufa para diferentes tipos de transportes. ..	58
Figura 22: Percentual das emissões de uma unidade de botijão de GLP. ....	64
Figura 23: Visão geral da magnitude das emissões anuais dos fornos. ....	66

Figura 24: Emissões dos fornos por fases (equipamento, combustível e manutenções).  
..... 67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo de artigos que realizaram ACV em fornos solares. ....	35
Tabela 2: Dados dos componentes do dispositivo. ....	37
Tabela 3: Composição material do forno solar. ....	43
Tabela 4: Embalagens dos materiais do forno solar. ....	43
Tabela 5: Rotas de transportes traçadas pelo <i>Google Maps</i> dos materiais que compõem o forno solar. ....	44
Tabela 6: Materiais utilizados na limpeza semanal do forno solar. ....	45
Tabela 7: Composição material do forno convencional. ....	45
Tabela 8: Embalagens dos materiais do forno solar. ....	45
Tabela 9: Rota de transporte traçadas pelo <i>Google Maps</i> do forno convencional. ....	46
Tabela 10: Materiais utilizados na limpeza semanal do forno convencional. ....	46
Tabela 11: Acessórios do forno convencional. ....	46
Tabela 12: Percentual de reciclagem de diferentes materiais. ....	49
Tabela 13: Alocação do tempo anual do uso de dispositivos. ....	51
Tabela 14: Custo dos materiais do forno solar. ....	52
Tabela 15: Custo do forno convencional. ....	52
Tabela 16: Custo dos materiais de limpeza para fornos. ....	54
Tabela 17: Emissões de gases de efeito estufa para o forno solar considerando os diferentes cenários. ....	58
Tabela 18: Emissões fixas associadas ao forno solar. ....	60
Tabela 19: Emissões operacionais associadas as operações de limpeza no forno solar. ....	61
Tabela 20: Emissões de GEE para o forno convencional considerando os diferentes cenários. ....	62
Tabela 21: Emissões fixas associadas ao forno convencional. ....	63
Tabela 22: Cálculo para o Poder Calorífico Inferior do GLP. ....	64
Tabela 23: Emissões operacionais associadas ao consumo de GLP em forno convencional. ....	65

Tabela 24: Emissões operacionais associadas as operações de limpeza no forno convencional.....	65
Tabela 25: Custos operacionais anuais associados ao consumo de GLP em forno convencional.....	68
Tabela 26: Custos anuais das manutenções nos fornos .....	69

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

IMPACT	<i>IMPact Assessment of Chemical Toxics</i>
ABIVIDRO	Associação Brasileira das Indústrias de Vidro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AR6	<i>Sixth Assessment Report</i>
BEM	Balanco Energético Nacional
EI-99	<i>Eco-indicador 99</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de efeito estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GTP	<i>Global Temperature Change Potential</i>
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
ONU	Organização das Nações Unidas

# Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS .....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	16
2.2 FORNOS E FOGÕES SOLARES.....	21
2.2.1 Forno Solar do Tipo Caixa .....	26
2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) .....	27
2.4 ACV APLICADA A FORNOS SOLARES .....	33
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1 FORNO SOLAR .....	36
3.2 FORNO CONVENCIONAL .....	39
3.3 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV).....	40
3.3.1 Forno solar.....	42
3.3.2 Forno convencional.....	45
3.3.3 Quantificação das Emissões .....	47
3.4 AVALIAÇÃO FINANCEIRA.....	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
4.1.1 Forno solar.....	56
4.1.2 Forno convencional.....	61
4.2 AVALIAÇÃO FINANCEIRA.....	68
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	73
REFERÊNCIAS .....	76

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos assuntos mais discutidos na atualidade ao redor do mundo são os efeitos das mudanças climáticas. No Sexto Relatório de Avaliação (AR6 – Sixth Assessment Report) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (KERR *et al.*, 2022), há um forte alerta sobre a necessidade de ações para mitigação de riscos climáticos.

A média anual das emissões de gases de efeito estufa (GEE) globais tem crescido, fazendo com que a contenção do aquecimento global esteja fora de alcance. Os dados do relatório AR6 apontam que as emissões foram maiores na última década do que em qualquer outro momento da história.

Os cientistas enfatizam a necessidade de agir agora e rápido, pois com as taxas atuais de emissões serão necessários apenas 8 anos, aproximadamente, para que se esgote o "orçamento de carbono" restante para a meta de 1,5°C. Sendo assim, é preciso reduzir pela metade o atual nível de emissões ainda nesta década. Portanto, a má gestão dos recursos da terra, geração de energia por fontes fósseis, estilos de vida problemáticos e padrões de consumo, são os propulsores para o aumento das alterações climáticas na última década (RIAHI *et al.*, 2022).

No capítulo 5 do IPCC (KERR *et al.*, 2022) são relatadas centenas de evidências sobre a correlação entre mudanças climáticas e a produção de alimentos, bem como sobre os efeitos atuais e futuros que penalizam as regiões e grupos populacionais historicamente impactados pela baixa produção e acesso a alimentos.

Somando-se a esse cenário, o aumento do preço dos combustíveis segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (In: BRASIL, ANP, 2022a) e a alta da inflação relatada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) fez com que as famílias brasileiras passassem a guardar o gás de cozinha apenas para emergências (BRASIL, EPE, 2022b).

Diante da falta de autonomia energética voltadas para a alimentação por um lado, e das precárias condições de saúde e da qualidade de vida, somado às mudanças climáticas por outro, uma alternativa que está no foco das investigações são os fogões e os fornos solares, ou seja, o uso de dispositivos que por meio da energia solar captada, direta ou indiretamente, aquece e/ou cozinha alimentos.

Ao redor do mundo, os fornos solares são uma estratégia para cozimento que já vem sendo utilizada, como saída para as dificuldades enfrentadas por algumas populações. Na Suíça, o cozimento solar é uma estratégia que está sendo estudada para áreas isoladas (CHATELAIN *et al.*, 2019). Atualmente, na Somália há uma vila de cozinha solar; e nos campos de refugiados no Quênia a comunidade utiliza fornos solares que foram doados para ajudar no cozimento de alimentos. Do mesmo modo, nas áreas tibetanas da China, os fornos solares ajudam a reduzir a difícil tarefa de coletar combustível para cozinhar (SOLAR COOKERS INTERNATIONAL - SCI, 2021).

Como se pode notar, o uso do forno solar para cozinhar os alimentos já é uma realidade em determinadas comunidades onde a escassez energética é um fato. Desse modo, identifica-se que o forno solar contribui para que alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovidos desde 2015, possam ser alcançados. Destaca-se o objetivo 3, que se volta para a saúde e bem-estar; o objetivo 7, que defende a utilização de energia limpa e acessível; o objetivo 12, que valoriza o consumo e produção responsáveis; o objetivo 13, que estimula o desenvolvimento de ações contra a mudança global do clima e, por fim, o objetivo 15, que colabora com os desafios ambientais, econômicos e sociais da vida terrestre (UNITED NATIONS – UN, 2015).

Nesse sentido, entende-se que o estudo investigativo dos fornos solares se converte em um tema relevante para a sociedade, para o curso de Pós-graduação em Energias renováveis e para a ciência, mantendo sinergia com as discussões contemporâneas na área e com o momento de crise energética que assola o planeta, cumprindo assim o papel social que a pesquisa deve desempenhar junto à sociedade.

Esta é a primeira pesquisa que apresenta uma avaliação ambiental com contabilização de emissões de gases de efeito estufa para o cenário brasileiro, contribuindo com o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis em consonância com os ODS.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é quantificar as emissões de gases de efeito estufa associadas a construção e operação de um forno solar do tipo caixa.

Os objetivos específicos são:

- Construir o inventário para o protótipo do forno solar do tipo caixa;
- Aplicar a metodologia da avaliação de ciclo de vida ao forno solar para quantificar as emissões de gases de efeito estufa associadas à sua utilização;
- Estabelecer um cenário de referência (forno convencional) e quantificar as emissões de gases de efeito estufa associadas, comparando com o forno solar;
- Analisar o impacto financeiro do forno solar.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

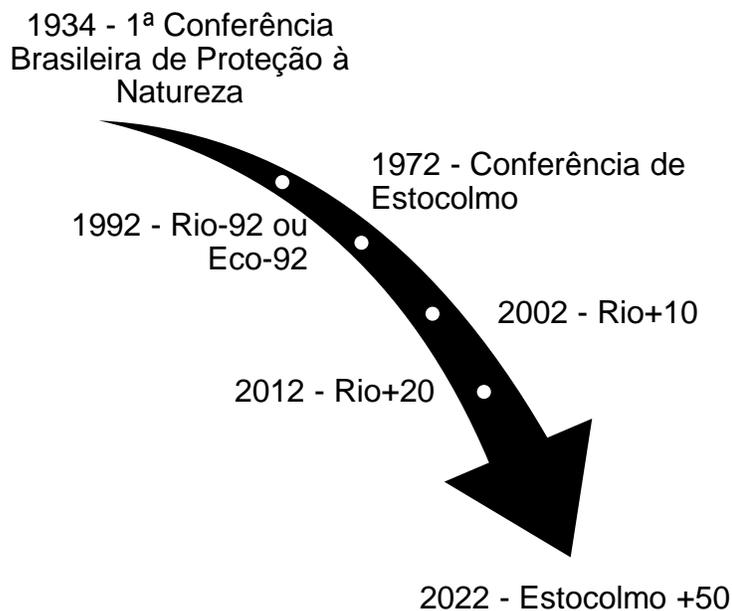
Nos anos 80, um grupo de estudiosos do centro climático dos Estados Unidos escreveu alertando sobre as mudanças climáticas e a importância de reduzir a emissão de GEE (CHANGNON; CENTER, 1989). A partir destes estudos, leis e decretos foram promulgados e algumas conferências ambientais foram realizadas, contribuindo para o estabelecimento das primeiras metas para a redução dos GEE (Figura 1).

Na Primeira Conferência Brasileira de Proteção à Natureza, realizada no ano 1934, o tema “proteção da natureza” passou a ter visibilidade, dando oportunidade para que o Brasil fosse inserido em debates internacionais preservacionistas e conservacionistas (FRANCO; RUMMOND, 2009). Esse tema é um assunto de responsabilidade da União e norteia às políticas públicas para o setor em nível federal (BRASIL, 1988).

Na ECO-92, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizado no Rio de Janeiro, em 1992, foram retomados os objetivos da Conferência de Estocolmo (1972) e elaborado um documento que visa direcionar as pessoas ao debate pela preservação e à valorização do meio ambiente. Nessa direção, no ano seguinte, se criou a “Agenda 21”, que viabilizou o novo padrão de desenvolvimento conciliando a proteção ambiental, a justiça social e a eficiência econômica (ONU,1992).

Como se pode notar na Figura 1, as preocupações com o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável vêm assumindo lugar de destaque desde os anos 30. Pode-se perceber, ainda, que desde então, há um debate crescente e ampliado nas Conferências ambientais sobre a correlação entre temas como ecologia e economia, além de outros, como a questão da justiça e das condições de vida e saúde no planeta, onde o Brasil se insere de maneira importante.

Figura 1: Cronologia de Conferências Ambientais.

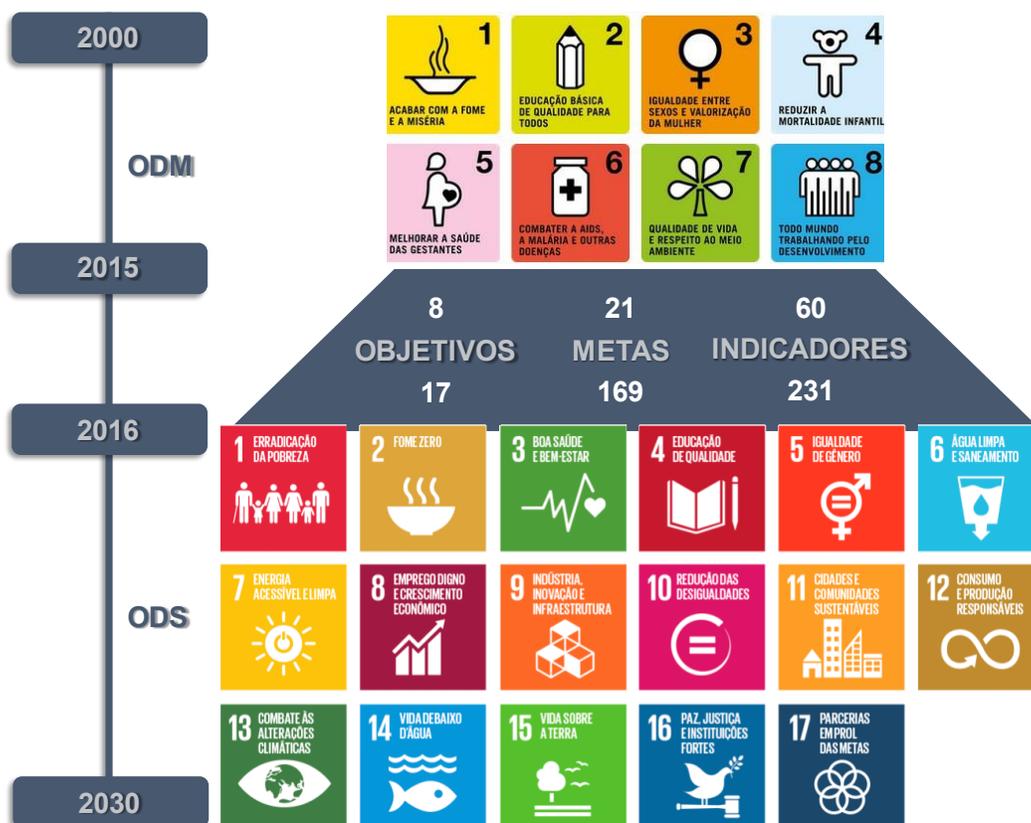


Fonte: Adaptado de Soares, 2018.

Em 2002, a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável, conhecida como Rio+10, teve a reafirmação dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), anunciado dois anos antes pela Organização das Nações Unidas (ONU) (BRASIL, 2019). Na Rio+20, 10 anos mais tarde, com a avaliação das políticas ambientais adotadas até então, foi possível rever e alterar os objetivos, metas e indicadores (Figura 2). Desse momento de muita preocupação com o desenvolvimento sustentável nascem os seus objetivos (ONU, 2015).

O encontro internacional Estocolmo +50, realizado em junho de 2022, teve como resultado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), principal voz global sobre o meio ambiente (ONU, 2022). O programa proporciona liderança e incentivos ao cuidado com o meio ambiente, inspirando, informando e capacitando nações e pessoas para melhorar a qualidade de vida das gerações futuras sem comprometê-las.

Figura 2: Evolução dos objetivos, metas e indicadores de desenvolvimento sustentável.



Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados da UN, 2015.

Desse modo, é evidente que o tema é um grande convite para que todos reflitam a respeito da responsabilidade para o bem da vida na terra, pois, é sabido que o crescimento populacional é ultrapassado pela extração e uso de recursos naturais. O rápido crescimento da extração de materiais é o principal culpado pelas mudanças climáticas e pela perda de biodiversidade e comprometimento das diferentes formas de vida (OBERLE *et al.*, 2019).

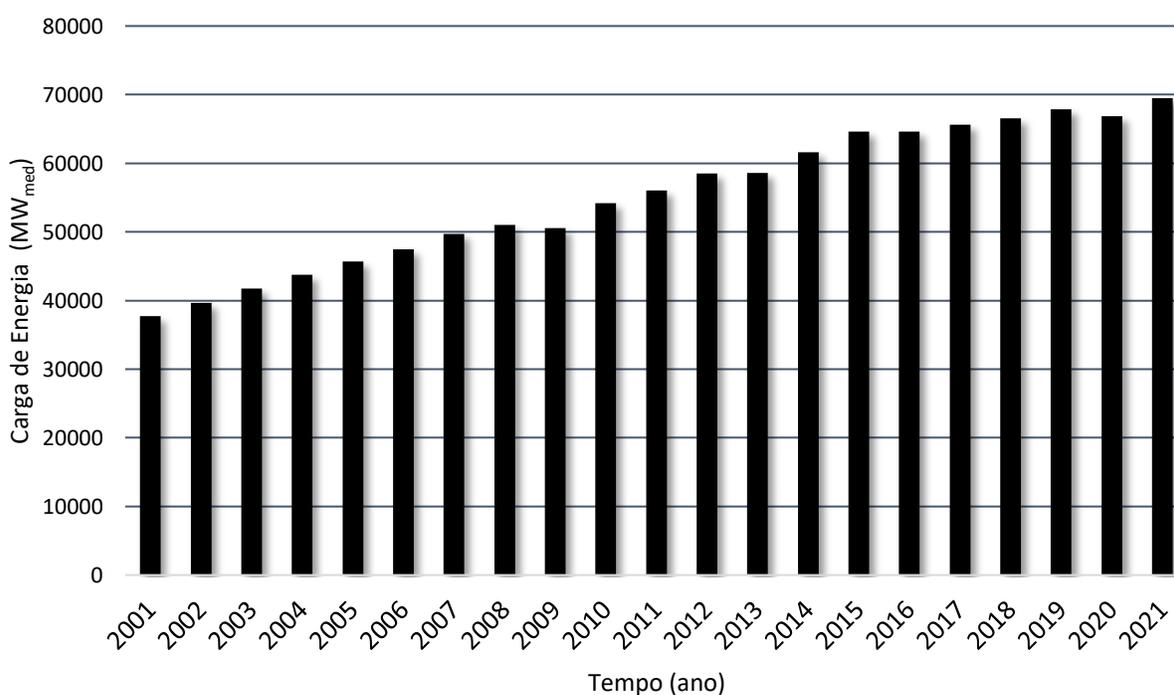
Nesse sentido, Guimarães *et al.* (2021) relatam que há uma forte ligação entre a ocorrência de desastres ambientais fluviais com os eventos extremos climáticos. Na mesma direção, Barua, Bardhan e Banerjee (2022) mostram que o número de geleiras na Península Antártica e região do Ártico está diminuindo gradativamente, portanto, a harmonia da biodiversidade está sendo afetada, se tornando uma ameaça à vida.

Assim, pesquisadores, mídias e agências preocupadas com a vida na terra, emitem frequentes avisos quanto aos riscos da ação humana impactando a vida no

planeta. Contudo, apesar dos alertas referentes às mudanças climáticas, percebe-se o aumento da demanda de energia ao redor do mundo, quase em desconsideração a todas essas questões.

No Brasil, o modelo segue semelhante ao resto do mundo. Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), entre os anos de 2001 e 2021 aumentou aproximadamente 70% da demanda de energia elétrica (Figura 3). Esse resultado está correlacionado ao crescimento populacional e aos padrões de consumo dos seres humanos (ALVES, 2022).

Figura 3: Histórico da Carga de Energia ( $MW_{med}$ ) originários da Base de Dados Técnica do ONS.

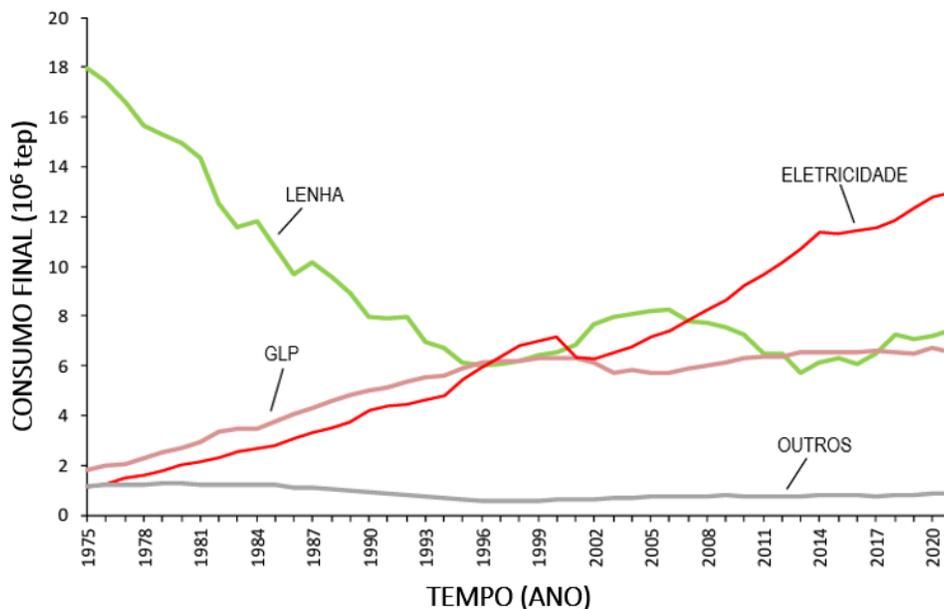


Fonte: ONS, 2022.

No Balanço Energético Nacional 2022 (BEN-2022), referente ao ano base 2021, relatado pela EPE (2022), mostra que o consumo final no setor residencial da lenha tem sido maior que o do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) (Figura 4), o que indica um retrocesso em saúde e qualidade de vida, pois os níveis de partículas emitidas durante o processo de combustão ficam muito acima dos estipulados pela Organização Mundial

da Saúde (OMS), se tornando fatores de risco para vários tipos de doenças (GIODA; TONIETTO; LEON, 2019).

Figura 4: Consumo final (tonelada equivalente de petróleo) no setor residencial ao longo do tempo.



Fonte: EPE, 2022.

A contribuição de diferentes fontes de energia oscila ao longo do tempo quando se restringe ao consumo no setor residencial. A fonte de energia mais consumida entre os anos 70 até o início dos anos 90 foi a lenha. A partir de 1995, a eletricidade e o GLP passam a ser consumidos de maneira equivalente a lenha. Depois desse marco, a eletricidade, na maior parte do tempo, passou a ser a fonte majoritária nas residências.

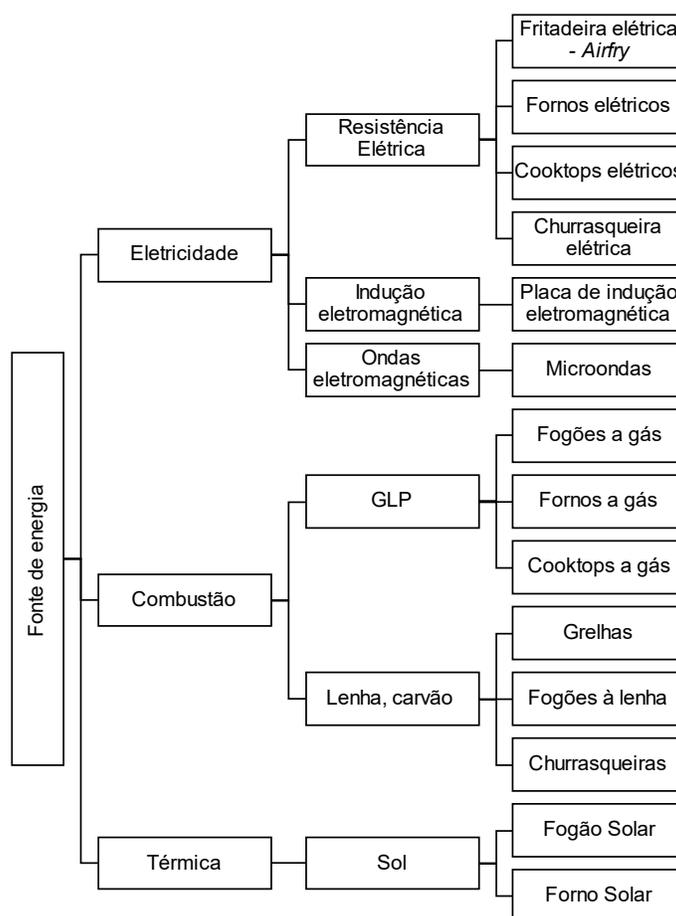
Em 2007, o uso de lenha começa a decair consideravelmente e o do GLP a crescer lentamente; em 2012 o consumo do GLP já tinha ultrapassado o da lenha. O último marco ocorre em 2017, que a partir desse ano a lenha está sendo mais utilizada que o GLP. A oscilação quanto ao tipo de fonte de energia usado pela população está diretamente relacionada ao seu preço (MANUEL; VITORINO, 2022; NETO; NOGUEIRA, 2022).

Diante disto, faz-se urgente pensar em formas economicamente viáveis para a população, bem como maneiras alternativas para evitar maiores danos ao planeta e, conseqüentemente à vida das pessoas. Para tanto, recursos que privilegiam o uso de energias renováveis podem ser a grande saída para o futuro.

## 2.2 FORNOS E FOGÕES SOLARES

Diferente de algumas décadas atrás, nos dias de hoje, se identificam diversas formas ou utensílios para cozinhar, assar e/ou fritar os alimentos (Figura 5). Fornos, fritadeiras, fogões, grelhas etc. participam do cotidiano das famílias, instituições e empresas de toda parte. Para cada um deles, fontes diferentes de energia são usadas, com destaque para a combustão, a eletricidade e a térmica.

Figura 5: Fontes de energia utilizadas em equipamento destinado para cozinhar, assar e/ou fritar alimentos.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para os fins desse estudo, o foco incidirá sobre aqueles fornos que se utilizam da energia solar térmica para o preparo de alimentos destinado à alimentação humana.

Nesse sentido, os fogões e os fornos solares são dispositivos que, por meio da energia solar captada, direta ou indiretamente, aquecem e/ou cozinham os alimentos.

Na literatura científica os termos “forno solar” e “fogão solar” não estão diferenciados com clareza. No dicionário Houaiss da língua portuguesa (2001), encontra-se que fogão é:

1 aparato de alumínio, ferro ou alvenaria, fixo ou móvel, com abertura(s) por onde sai uma chama alimentada por gás ou lenha, us. para cozinhar  
2 aparato similar movido a eletricidade 3 construção ou peça de metal fixa, parcialmente fechada, onde se faz fogo para aquecimento de interiores; lareira 4 aparelho portátil us. para aquecer salas e outros cômodos; estufa.... (Houaiss, 2001, p. 1363)

Já sobre o forno, a seguinte definição é dada pelo mesmo autor:

1 construção de tijolo, pedra ou ferro, na forma de câmara, cujo interior é aquecido com materiais combustíveis (carvão, lenha etc.) e que se destina a cozinhar ou assar, esp. Alimentos 3 aparelho industrial semelhante, porém ger. Maior, us. para secar, aquecer e cozer substâncias ou produtos em processos químicos, metalúrgicos ou da manufatura 4 m.q. FORNALHA ('qualquer recipiente') 5 parte do fogão onde se assam os alimentos 6 fig. Lugar extremamente quente ... (Houaiss, 2001, p. 1376)

A partir dessas definições, pode-se resumir que o fogão apenas cozinha e o forno cozinha e assa. Porém, por definição, cozinhar e assar, ambos, são definidos como preparar alimentos através do fogo ou de qualquer outro processo (HOUAISS; 2001, p.860; HOUAISS; 2001, p.318).

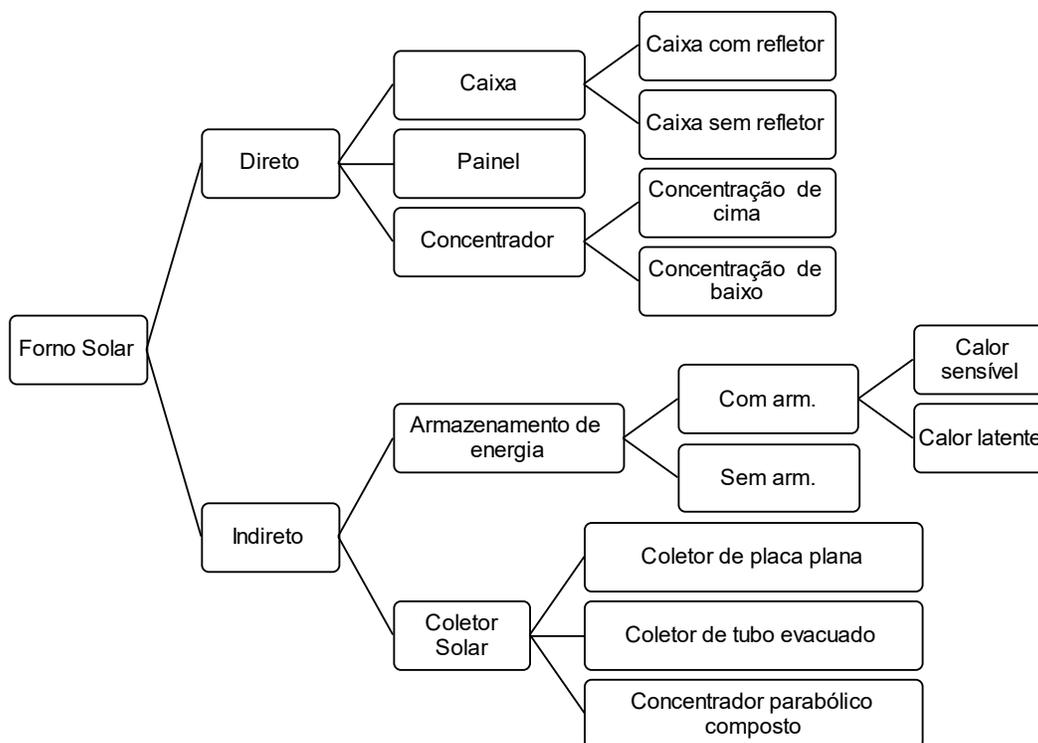
Na técnica dietética esses termos são designados a diferentes procedimentos para preparação de alimentos. Cozinhar refere-se ao método que a cocção do alimento é realizada por calor úmido, por meio de líquido quente ou vapor, enquanto assar é dito para a cocção por calor seco, ou seja, o alimento é preparado em um ambiente controlado e seco sem envolver o uso de água e outros líquidos (PHILIPPI, 2014).

Dessa maneira, conclui-se que o fogão é um dispositivo que permite preparar o alimento por meio de líquido quente ou vapor, enquanto o forno prepara utilizando diferentes métodos. Assim, nesse trabalho o termo utilizado será forno solar por se tratar de um dispositivo que permite diferentes maneiras de preparar o alimento.

O termo forno solar foi utilizado no trabalho de Atmane *et al.* (2021) em referência a um tipo de forno que utiliza a energia elétrica proveniente de um sistema fotovoltaico, diferente do que será retratado nesse estudo. Já o estudo de Panwar, Kothari e Kaushik (2013) direciona o uso do dispositivo para alimentação de animais, enquanto Jassim, Abbood e Rashid (2022) utilizam para a esterilização de equipamentos cirúrgicos estéreis. Portanto, há finalidades diferentes e, conseqüentemente, fornos solares diferentes.

São muitos os exemplos de fornos solares. Inicialmente podem se dividir em forno solar direto e forno solar indireto (Figura 6). Nos fornos solares diretos, os modelos podem ser classificados como: de caixa, de painel e concentrador. Mesmo os fornos de caixa podem possuir refletor ou não (AQUILANTI *et al.*, 2023). Do mesmo modo, os fornos concentradores, podem ter a concentração por cima ou por baixo. Já os fornos solares do tipo indireto podem ter armazenamento de energia ou serem acoplado ao coletor solar.

Figura 6: Classificação de fornos solares.



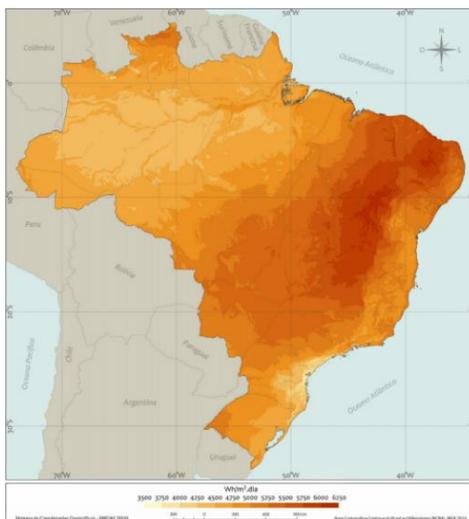
Fonte: Adaptado e traduzido de HEREZ; RAMADAN; KHALED (2018).

O uso de fornos solares vem sendo defendido por alguns autores. Segundo Otte (2013), cozinhar usufruindo da energia do sol é uma maneira de baixo impacto, custo e que ajuda o meio ambiente, porém ainda há variáveis como o meio social, a cultura e as técnicas que não permitem a implementação bem-sucedida de alguns projetos de cozimento solar. Portanto, faz-se necessário aprofundar as pesquisas na área a fim de avaliar os impactos e vantagens no uso dessa tecnologia (OTTE, 2013).

No estudo de Khatri, Goyal e Sharma (2021) é ressaltada a necessidade de preparar e implementar políticas que promovam o cozimento solar, popularizando essa tecnologia. Índia, China, Japão, EUA e África do Sul desenvolveram recentemente diferentes políticas promovendo aplicações de energia solar, especialmente para fogões solares e aquecedores de água (SAXEMA *et al.*, 2020).

No caso brasileiro, tem-se as melhores condições para o investimento em políticas públicas que visem o uso de fornos ou fogões solares, pois as condições climáticas são totalmente favoráveis, segundo dados da SCI. No entanto, ainda não se observam ações efetivas nessa direção. Sobre esse aspecto, a SCI classifica o Brasil como o 7º país do mundo em termos de potencial de cozimento solar (SCI, 2022). A irradiação solar ao longo do ano no Brasil, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, escrito por Pereira *et al.* (2017), varia entre 4 e 6 kWh/m<sup>2</sup>, aproximadamente como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7: Mapa brasileiro da irradiação global horizontal diária.



Fonte: Pereira *et al.* (2017).

Regiões mais pobres têm optado pelo uso de fornos solares como estratégia viável para melhoria no acesso da população às fontes naturais de energia na preparação dos alimentos, como exposto na Figura 8.

Figura 8: Visão mundial onde fornos solares são fabricados, vendidos, subsidiados e/ou distribuídos gratuitamente.



Fonte: SCI, 2022.

O uso de fornos solares tem sido uma estratégia para cozimento em regiões menos favorecidas. Atualmente, Somália, Quênia e Nepal dão bons exemplos no uso de fornos solares (SCI, 2019b; SCI, 2023a; SCI, 2023b). Regiões do Tibet, no Paquistão e Madagascar também demonstram alternativas viáveis no uso dos fornos (SAXENA *et al.*, 2023). Na Somália destaca-se uma vila que usufrui da cozinha solar distribuindo essa fonte de energia para todos os moradores. No Quênia e no Nepal os campos de refugiados receberam fornos solares doados (SCI, 2023a; SCI, 2023b).

Do mesmo modo, nas áreas tibetanas da China, os fornos solares são utilizados e ajudam a reduzir a difícil tarefa de coletar combustível para cozinhar. Também no

Paquistão o uso do dispositivo solar é impulsionado devido ao aumento dos preços combustíveis, tornando-se uma fonte viável. Em Madagascar o uso do aparelho é estimulado pela autonomia energética e redução do desmatamento, devido a dependência da lenha (SCI, 2019a).

O uso dos fornos solares, como demonstrado, já é uma realidade e tem promovido algumas vantagens em diferentes regiões do mundo. As contribuições positivas oriundas do uso do dispositivo solar em locais que apresentam características e cenários semelhantes ao do Brasil são notórias (ANDRIANAIVO; RAMASIRINORO, 2014; CHAKMA *et al.*, 2021).

### **2.2.1 Forno Solar do Tipo Caixa**

Os fornos solares do tipo caixa são fáceis de construir, de usar, seguros e requerem pouca atenção no momento de operar em relação a outros tipos de fornos (MISRA *et al.*, 2023). São formados basicamente por um recipiente retangular, tipo caixa aberta, que possui uma tampa transparente por cima para proporcionar o efeito estufa (WELDU *et al.*, 2019). As paredes do equipamento possuem isolamento térmico interno, para reduzir a perda de calor para o ambiente externo, e no fundo do recipiente uma placa absorvedora, para máxima absorção da radiação solar (geralmente é feita uma pintura na cor preta). A tampa pode ser de vidro simples ou de múltiplas lâminas de vidro, mas nunca vidro refletivo, por se tratar de um tipo que reduz a entrada de calor e da radiação (KHATRI; GOYAL; SHARMA, 2021).

Ao longo do tempo modificações no design foram testadas, assim, há fornos que podem ter refletores (simples, duplos, com três, quatro ou até oito) (UKEY; KATEKAR, 2019) e com rastreamento do sol (Al-Nehari *et al.*, 2021). Os equipamentos que possuem refletores têm melhor desempenho térmico quando comparado aos que não possuem, pois amplia a superfície de transferência de calor (VENGADESAN; SENTHILT, 2021).

As mais recentes melhorias dos fornos solares estão relacionadas ao armazenamento de calor latente que visa o cozimento de alimentos durante o período noturno (VISHWAKARMA; SINHA, 2022). Verma *et al.* (2022) estabelece diretrizes para projetos de fogões solares do tipo caixa com armazenamento térmico sensível, enquanto

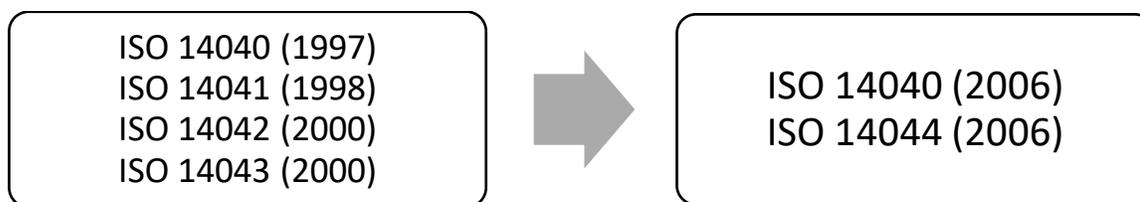
Saxena *et al.* (2023) analisa diferentes materiais de armazenamento de calor sensível de baixo custo e o tempo de carregamento em fornos solares do tipo caixa. Portanto, os pesquisadores buscam por soluções que reduzam as barreiras que o forno solar apresenta frente aos métodos já consolidados, como o seu tempo de uso. Dessa maneira, esses estudos buscam prolongar a utilização do dispositivo possibilitando que as pessoas o aproveitem em momentos sem radiação solar.

### 2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A ACV é um instrumento de gestão desenvolvido para registrar entradas e saídas de um sistema de produção, com o objetivo de avaliar os aspectos ambientais e potenciais impactos que estejam associados ao objeto em análise. Essa avaliação pode considerar as etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo até à disposição do produto final. Sua organização metodológica é reconhecida internacionalmente e é padronizada pelo *International Organization for Standardization (ISO)*.

Em 2006, a série de normas ISO (14040, 14041, 14042 e 14043) com o objetivo de estabelecer diretrizes para a padronização das avaliações foram revisadas e agrupadas em apenas duas: a ISO 14040 e a ISO 14044 (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b), como exemplificado na Figura 9.

Figura 9: Visão geral das normas referente a ACV.



Fonte: Elaborado pela autora.

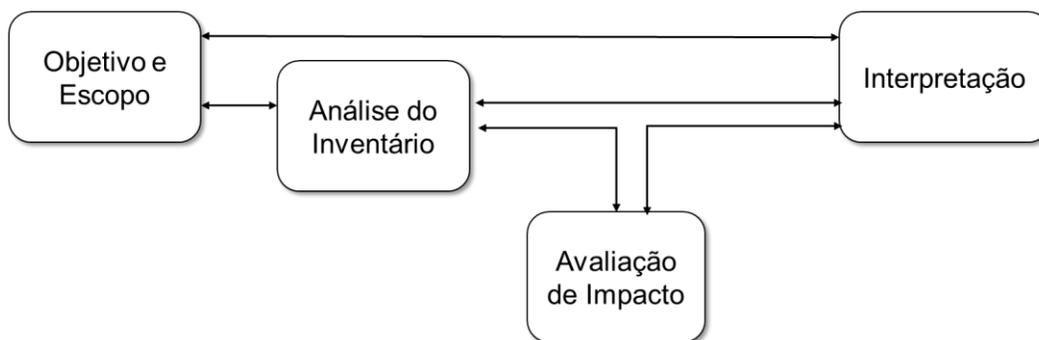
No Brasil, as normas criadas pela ISO foram traduzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) conservando a mesma numeração (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b).

A ACV permite identificar problemas e oportunidades de melhorias ao longo do processo produtivo bem como auxilia na tomada de decisões (PESQUEIRA; PEREIRA; SILVA, 2021). Isso ocorre, pois, a ACV é usada para detectar quais destes caminhos do ciclo de vida são mais impactantes ao meio ambiente, podendo ainda, avaliar o custo das possíveis mudanças e o impacto correlato das alterações (GOLSTEIJN, 2020).

Para a realização de uma avaliação do ciclo de vida é necessário seguir etapas pré-estabelecidas (ABNT, 2014a). Na primeira etapa deve-se definir os objetivos da ACV, o escopo com os limites do sistema analisado no ciclo de vida, suas dimensões de análise ambiental e sua unidade funcional. Na segunda etapa se constrói o inventário do ciclo de vida (ICV). Já na terceira etapa, a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) é efetuada relacionando a ICV com as ponderações de impactos ambientais, para cada fluxo de insumo/produto/resíduo do processo. Na quarta e última etapa o processo interpretativo confronta os dados da ICV e da AICV e efetua recomendações de melhoria do processo (SILVA *et al*, 2018). As fases que possuem caráter qualitativo são a primeira e a última fase, e de caráter quantitativo são a segunda e a terceira fase (CAMPOS-GUZMÁN *et al.*, 2019).

Ao definir o objetivo é preciso explicitar os propósitos almejados e detalhar todos os aspectos considerados relevantes, a fim de direcionar o escopo da avaliação (Figura 10), sendo essa etapa de grande importância para que todo o processo de avaliação se desenvolva corretamente (CHEHEB, 1997). Durante o processo da avaliação é permitido reformular a definição do objetivo, desde que sejam informadas as mudanças que aconteceram nos últimos anos.

Figura 10: Fases da ACV.



Fonte: Adaptado de Cheheb, 1997.

Após definir os objetivos e o escopo, os limites devem ser definidos. Segundo a ABNT (2014b), os tipos de limites fronteiras para o sistema são:

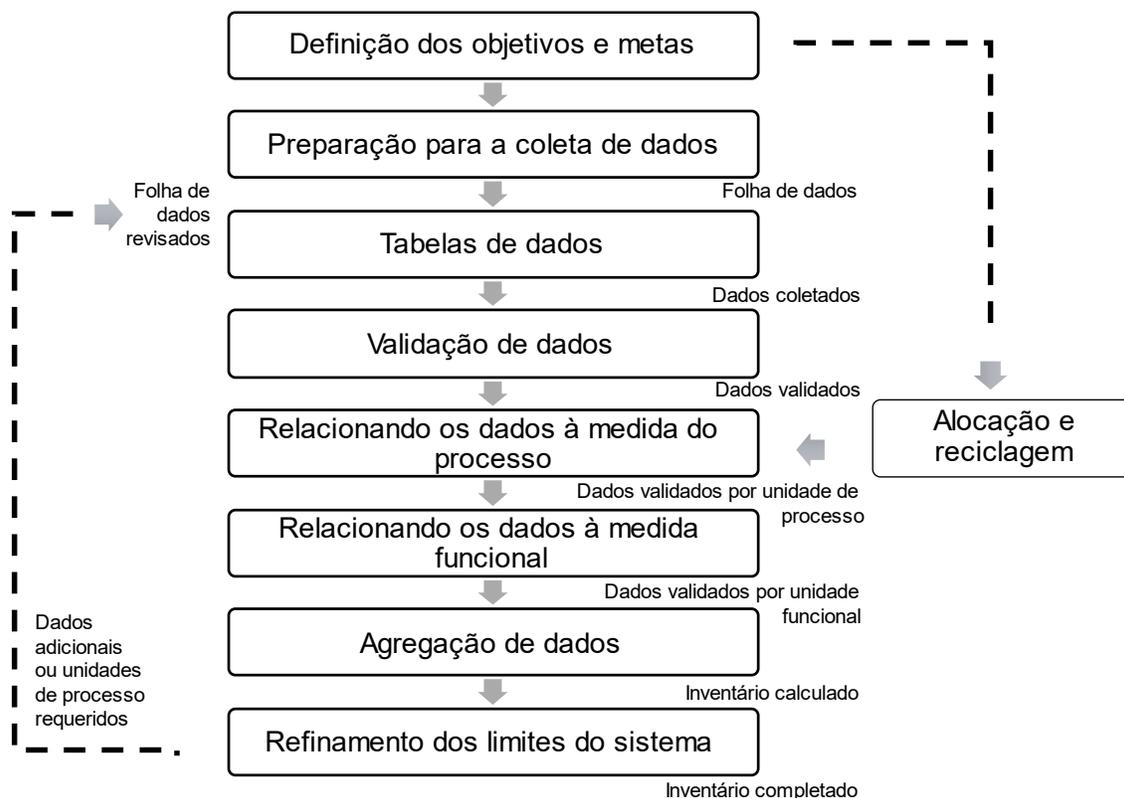
- a) *Cradle-to-gate* (berço ao portão): abrange a extração da matéria-prima até a portão da fábrica, assim a fase de uso e de descarte do produto são omitidas da avaliação.
- b) *Cradle-to-grave* (berço ao túmulo): abrange a extração da matéria-prima, produção, transporte, uso e descarte do produto.
- c) *Gate-to-grave* (portão ao túmulo): abrange a fase de uso e descarte do produto.
- d) *Gate-to-gate* (portão ao portão): consiste em um ponto definido ao longo do ciclo de vida até um segundo ponto, por exemplo, a análise do processo desde a entrada e a saída do portão de uma fábrica.
- e) *Cradle-to-cradle* (túmulo ao túmulo): refere-se à avaliação de um ciclo fechado, ou seja, abrange a extração da matéria-prima, produção, transporte, uso e a reciclagem do produto.

Vale salientar que pode não ser prático estudar todos os elementos relacionados ao sistema por causa do custo, do tempo e/ou baixa relevância nos resultados, assim, os modelos funcionais utilizados devem ser descritos e as hipóteses envolvidas nessa escolha identificadas (MARQUES, 2021). Após indicar quais as fases do processo serão incluídas e excluídas, deve-se definir a unidade funcional (UF). A UF é uma unidade de referência que descreve quantitativamente a principal função e duração do sistema de produto em escopo bem como garante a comparabilidade e interpretação dos resultados, sendo o aspecto chave da ACV (PANOPOULOS *et al.*, 2022).

A ACV pode ter uma abordagem do tipo atribucional ou consequencial. No primeiro tipo de abordagem é considerado as relações quantitativas entre entradas e saídas do sistema, apresentando informações sobre os impactos gerados pelos processos que envolvem a produção de um produto, excluindo os efeitos indiretos de alterações na saída. Na abordagem consequencial, por outro lado, fornecem informações sobre as prováveis consequências de mudanças nos níveis de produção, consumo e descarte de um produto, incluindo efeitos indiretos que podem ocorrer dentro e fora do seu ciclo de vida (BRANDÃO *et al.*, 2017).

O próximo passo da ACV é a construção do inventário (figura 11). Nele a coleta de dados é realizada e cálculos relacionados a entradas e saídas do sistema do produto são estudados (SILVA *et al*, 2020). Essa etapa é trabalhosa e difícil de ser executada, seja por ausência de dados conhecidos e a necessidade de estimá-los à quantidade do dado disponível (OLIVEIRA; MAHLER, 2018).

Figura 11: Etapas operacionais para a fase de análise do inventário.



Fonte: Adaptado de CHEHEB, 1997.

A fim de obter êxito no estudo é imprescindível que os dados tenham uma boa qualidade. Assim, deve-se levar em consideração a idade dos dados, a área geográfica delimitada, a cobertura tecnológica, a precisão, a representatividade, a consistência e a reprodutividade dos dados para a avaliação do objeto em análise (LI *et al.*, 2021).

Os dados coletados devem ser categorizados e organizados para que seja possível uma análise seletiva. Os dados podem ser organizados por entradas físicas (energia, matérias-primas, matérias auxiliares), produtos e emissões ao meio ambiente

(ABNT,2014a). Desse modo, os critérios de seleção dos dados devem ser claramente apresentados e justificados. Em cada unidade de processo deve-se identificar todas as entradas e saídas com o objetivo de avaliar as mais significativas para a modelagem.

A terceira etapa refere-se à avaliação de impacto do ciclo de vida, quando se aplica um método de avaliação de impacto ambiental. Existem vários métodos, que podem ser classificados em *midpoint* e *endpoint*, dependendo do estágio usado na cadeia de causa e efeito para calcular o impacto ambiental (MARQUES, 2021).

O método *midpoint* se caracteriza pelo uso de indicadores situados ao longo do mecanismo ambiental antes do fim da categoria. Enquanto o *endpoint* julga todo o mecanismo ambiental até o seu ponto final da cadeia. Alguns métodos de avaliação de impacto ambiental são: CML-IA (HUIJBREGTS *et al.*, 2003), Eco-indicador 99 (GOEDKOOPE; EFFING; COLLIGNON, 2000), Impact 2002+ (JOLLIET *et al.*, 2003), ReCiPe (HUIJBREGTS *et al.*, 2017), IPCC GWP 2013 (IPCC, 2013) e o mais novo, IPCC GWP 2021 (FORSTER *et al.*, 2021).

O CML-IA é um método de avaliação do tipo *midpoint*, que visa uma modelagem quantitativa aos estágios iniciais da cadeia de causa e efeito para limitar as incertezas (LI *et al.*, 2021). O CML 2001 foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Ambientais, na Universidade de Leiden, Holanda. Essa metodologia consiste em uma planilha do Microsoft Excel com fatores de caracterização para mais de 1700 fluxos diferentes que pode ser baixada do site da CML. Os fatores de caracterização são atualizados quando novos conhecimentos sobre o nível da substância estão disponíveis (ACERO *et al.*, 2016).

O Eco-indicador 99 (EI-99) é um método de avaliação *endpoint* desenvolvido pela PRé Sustainability B.V. que calcula os impactos considerando o fator de escala (PRÉ-CONSULTANTS, 2000). Esse método engloba etapas de normalização e ponderação e possui 11 categorias de impacto. Essas categorias são reunidas em três categorias de dano, que objetiva simplificar a interpretação e ponderação dos resultados da ACV por meio do cálculo de pontuações.

O método Impact 2002+ (*IMPact Assessment of Chemical Toxicity*) desenvolvido na Suíça avalia impactos ambientais que combina Impact 2002 (em sua primeira versão) e

os métodos Eco-Indicator99, CML e IPCC, ou seja, combina métodos de avaliação de impactos clássicos e de métodos orientados ao dano (HISCHIER *et al.*, 2010).

O método ReCiPe foi desenvolvido em 2008, é um método com característica combinativa, unindo as duas abordagens: *midpoint* e *endpoint* e pode ser considerado uma continuação do método EI-99 e CML 2000. Ele tem a finalidade de obter resultados orientados a problemas e a danos (GOEDKOOPE *et al.*, 2009). No ReCiPe foram determinados 18 indicadores *midpoint* e 3 indicadores *endpoint*. Cada método, *midpoint* ou *endpoint*, apresenta fatores que se diferenciam em relação às perspectivas culturais (GOEDKOOPE *et al.*, 2008).

Em 2016, houve uma atualização do ReCiPe, apresentando melhorias e incorporando novos dados. Essa atualização permite uma caracterização de fatores que são representativos para a escala global em vez da escala europeia, assim, possibilitando categorizar os impactos em escala nacional e continental (HUIJBREGTS *et al.*, 2017).

O IPCC GWP 2013 é um método de avaliação dos impactos ambientais desenvolvido pelo IPCC (IPCC, 2013). Esse método examina e quantifica o potencial direto de aquecimento global provocado pelas emissões atmosféricas, inserindo os resultados em uma métrica comum que é a quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente (IPCC, 2015).

O método IPCC GWP 2021 é o sucessor da IPCC 2013 baseado no relatório "AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis" (FORSTER *et al.*, 2021). O IPCC publica relatórios periódicos (*Assessment Reports*) que contém os fatores de conversão mais recentes para o Potencial de Aquecimento Global (GWP, Global Warming Potential) e Potencial de Mudança de Temperatura Global (GTP, Global Temperature Change Potential). Da mesma forma que os relatórios anteriores, o AR6 considera diferentes horizontes temporais (20, 100 e 500 anos) para a vida troposférica dos gases de efeito estufa. Como se vê, há diferentes métodos, mas no mercado os principais softwares comerciais para ACV são: SimaPro, Umberto, GaBi Software e OpenLCA (OLAGUNJU; OLANREWAJU, 2020).

Na última fase da ACV, o objetivo é o de interpretação, onde é feita uma análise crítica que apresenta as conclusões e recomendações do estudo (ABNT, 2014b). Certamente, essa etapa é uma das mais importantes no uso do método, pois, ela permite

retomar quaisquer etapas anteriores, procedendo mudanças, se necessário. Portanto, essa etapa representa um momento crucial dos estudos de avaliação de ciclo de vida.

## 2.4 ACV APLICADA A FORNOS SOLARES

O uso da ACV ainda é pequeno para alguns produtos. São poucos os estudos que avaliaram os impactos ambientais de fornos solares, conforme pode ser visualizado na Tabela 1. Na literatura científica foi encontrado apenas três (3) trabalhos com o uso da ACV de fornos solares. O trabalho de Andrianaivo e Ramasiarinoro (2014) fez uma avaliação do impacto ambiental de um forno solar parabólico em Madagascar. Já o estudo de Chakma *et al.* (2021) focou em um forno solar tipo caixa com duplo espelho, para a região do Himalaia. Mendoza *et al.* (2019) estudaram a sustentabilidade de fornos solares caseiros para uso em regiões em desenvolvimento, demonstrando os benefícios da substituição de fornos microondas por três tipos de fornos solares: tipo caixa, de painéis e parabólico.

O estudo de Andrianaivo e Ramasiarinoro (2014) construiu um inventário de um forno solar do tipo parabólico, procedeu a aplicação da ACV e ainda fez uma comparação entre a utilização da tecnologia solar e a de carvão e a de madeira. A ACV foi norteadas pelas normas ISO, os cálculos foram realizados no software SimaPro 7.0 com base na unidade funcional que considera o uso do forno solar duas vezes ao dia durante um ano. A análise ambiental abrangeu a manufatura, a produção, o transporte e o uso, sendo assim uma avaliação do tipo *Cradle-to-gate*. O inventário e o método utilizados não foram expostos no artigo. As projeções realizadas pelos estudiosos mostram que anualmente uma família com seis pessoas residindo em Madagascar emite 3.435,02 kg CO<sub>2</sub> ao utilizar a lenha, 8.940,13 kg CO<sub>2</sub> ao cozinhar com carvão e 2.500,74 kg CO<sub>2</sub> usando o forno solar. Por fim, o estudo afirma que, comparado as três maneiras de cozinhar, o forno solar reduz aproximadamente 50% dos impactos ambientais.

Mendoza *et al.* (2019) construíram os três principais tipos de fornos solares (parabólico, caixa, plano) e realizaram experimentos de desempenho com todos eles. Em seguida, aplicaram a ACV, calcularam o custo do ciclo de vida e compararam com o micro-ondas. A ACV foi feita com o método CML 2001 utilizando a base de dados

Ecoinvent v2.2 no software GaBi v7.2, e considerando a unidade funcional usar o forno solar uma vez ao dia (horário do almoço) durante 8 meses em que os limites do sistema é *Cradle-to-grave*. Os resultados mostram que em cada uso do micro-ondas são emitidos 0,393 kg CO<sub>2</sub>-eq, do forno solar do tipo caixa 0,104 kg CO<sub>2</sub>-eq, do forno solar plano 0,087 kg CO<sub>2</sub>-eq e do forno solar parabólico 0,366 kg CO<sub>2</sub>-eq. Também foi apontado que a redução dos impactos ambientais nesses três tipos de forno pode chegar até 65% quando comparados com o micro-ondas, enquanto o impacto financeiro pode ser reduzido em 40% do custo anual.

Chakma *et al.* (2021) realizaram a avaliação do ciclo de vida do forno solar do tipo caixa com refletor duplo, utilizando usando o software SimaPro 9.0 com o método Impacto 2002+. A unidade funcional do estudo é cozinhar com o forno durante um ano. Nesse estudo, a quantidade de GLP foi considerada como sistema de referência para a avaliação comparativa. Os resultados da análise da fabricação do forno mostraram que esse tipo de forno solar substitui até cinco cilindros de GLP. Das avaliações econômicas utilizando o método de Custo do Ciclo de Vida (LCC - *Life Cycle Cost*) foi concluído que o período de retorno financeiro é de aproximadamente 2 anos para o uso do forno solar. Por outro lado, o estudo revela que a depender da matéria prima utilizada na construção dos respectivos fornos, há variação no impacto ambiental provocado por eles. O maior contribuinte dos impactos ambientais foi o alumínio e nas análises de sensibilidade estudadas foram verificados o ferro fundido e o aço como alternativas. Nessa avaliação foi observado que na categoria saúde humana o alumínio tem maior impacto, seguido do ferro e do aço. Já na categoria qualidade do ecossistema o material que mais impacta é ferro fundido, em seguida o alumínio e aço, e nas categorias recursos e mudanças climáticas o alumínio apresentou maior impacto, seguido do aço e depois do ferro. Por fim, os pesquisadores concluem que o fogão solar é economicamente viável e deve ser adotado.

Tabela 1: Resumo de artigos que realizaram ACV em fornos solares.

Referência	Tipo de forno	Avaliação do Ciclo de Vida	Resumo
Andrianaivo e Ramasiarinoro, (2014)	Forno parabólico	<p><b>Método:</b> Não mencionado</p> <p><b>Software:</b> SimaPro 7.0</p> <p><b>Limite:</b> <i>Cradle-to-gate</i> (berço ao portão) – extração de materiais, fabricação, transporte e uso</p> <p><b>UF:</b> Cozinhar duas vezes ao dia com o forno solar por um ano.</p>	Avaliação do impacto ambiental através da quantificação das missões de CO <sub>2</sub> por refeição para diferentes fontes: lenha, carvão e o sol. No estudo foram registrados 3,14 kg CO <sub>2</sub> emitidos para cada refeição feita no forno à lenha, 8,16 kg CO <sub>2</sub> ao utilizar o carvão e 3,79 kg CO <sub>2</sub> ao se usar o forno solar do tipo parabólico.
Mendoza <i>et al.</i> (2019)	Forno do tipo caixa, plano e parabólico	<p><b>Método:</b> CML 2001</p> <p><b>Software:</b> GaBi v7.2</p> <p><b>Limite:</b> <i>Cradle-to-grave</i> (berço ao túmulo)</p> <p><b>UF:</b> Cozinhar durante um ano</p>	Avaliação ambiental e financeira de diferentes tecnologias solar visando a substituição do forno micro-ondas. As emissões foram expressas em kg de CO <sub>2</sub> -eq para cada uso. No trabalho foram computados 0,393 kg CO <sub>2</sub> -eq para o micro-ondas, 0,104 kg CO <sub>2</sub> -eq para o forno solar do tipo caixa, 0,087 kg CO <sub>2</sub> -eq para o forno solar plano e 0,366 kg CO <sub>2</sub> -eq para o forno solar parabólico.
Chakma <i>et al.</i> (2021)	Forno tipo caixa	<p><b>Método:</b> Impact 2002+</p> <p><b>Software:</b> SimaPro 9.0</p> <p><b>Limite:</b> <i>Cradle-to-gate</i> (berço ao portão) – extração de materiais, fabricação, transporte e uso</p> <p><b>UF:</b> Cozimento usando o forno solar por um ano.</p>	Avaliação ambiental e financeira aplicada no forno solar do tipo caixa de duplo refletor e um forno convencional movido à GLP. Na pesquisa foi o uso do forno solar é equivalente a 5 botijões de GLP e que o <i>payback</i> é de 1,89 anos (1 ano e 10 meses).

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foi avaliado o protótipo existente de um forno solar do tipo caixa. As subseções a seguir apresentam detalhes do objeto de estudo e do tipo de avaliação utilizado.

#### 3.1 FORNO SOLAR

O forno solar estudado nesta pesquisa é um protótipo produzido na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), uma versão adaptada do estudo de Pereira Neto *et al.* (2021). Este dispositivo foi confeccionado utilizando materiais oriundos de uma estante em desuso, espelhos, vidros e poliestireno expandido reutilizado. O desenho esquemático é mostrado na Figura 12. O forno solar tem capacidade de cozinhar e/ou assar, simultaneamente, até seis alimentos em recipientes circulares com diâmetro de até 35 cm ou com recipientes retangulares com área de até 0,1m<sup>2</sup> (por exemplo formas medindo 36x26cm).

Figura 12: Desenho esquemático do protótipo estudado.



Fonte: Adaptado e traduzido de Pereira Neto *et al.*, 2021.

Em relação ao protótipo original (Pereira Neto et al., 2021), a altura do suporte foi reduzida, com o intuito de cuidar da ergonomia do usuário ao valer-se do equipamento, proporcionando segurança e eficiência, ver Figura 13. Além disso, foram adicionadas rodinhas para que o equipamento pudesse ser deslocado com facilidade. Essas alterações foram consideradas durante a avaliação.

No dia 13 de junho de 2022 foi realizada uma visita ao Laboratório de Máquinas Hidráulicas da UFRN, onde foram coletados dados de cada material que compõe o forno solar. Para a pesagem foram utilizadas duas balanças digitais, sendo a primeira com capacidade de até 10 kg e a segunda de até 200 kg.

A pesagem foi realizada em uma superfície plana e estável. No local não havia vibrações, mudanças bruscas de temperatura e de umidade e movimentos de ar. Ao início de cada pesagem foi acertado o zero (tara) da balança, em seguida o objeto em análise foi inserido sobre o prato da balança e, por fim, a leitura da massa exposta no visor foi registrado. Cada tipo de elemento foi pesado cinco vezes e com a série de dados coletados a média amostral foi calculada.

As medidas de cada componente também foram aferidas utilizando paquímetro, régua e trena. Na Tabela 2, os valores das dimensões coletadas são mostrados.

Tabela 2: Dados dos componentes do dispositivo.

<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Área da superfície absorvedora	0,96	m <sup>2</sup>
Área da superfície transparente	0,96	m <sup>2</sup>
Área do refletor externo	0,96	m <sup>2</sup>
Altura do suporte	0,40	m

Fonte: Elaborado pela autora.

No momento da coleta o forno não estava totalmente montado, possibilitando a pesagem dos componentes separadamente, como é exposto nas Figura 13 e Figura 14.

Figura 13: Suporte do forno após alterações.



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 14: Forno Solar do Tipo caixa no dia da pesagem dos componentes.



Fonte: Arquivo da autora.

### 3.2 FORNO CONVENCIONAL

O forno convencional utilizado neste estudo é o modelo 4005 da Esmaltec; o dispositivo possui 4 queimadores e um forno, conforme pode ser visualizado na Figura 15. Nesse estudo o termo forno convencional refere-se ao conjunto (queimadores e compartimento forno), pois foram avaliados cozimentos de alimentos em calor seco e úmido.

Figura 15: Forno convencional utilizado no estudo.



Fonte: Esmaltec, 2023.

A escolha do equipamento utilizado no estudo se ateve a capacidade de cozimento (equivalente ao do forno solar), a popularidade, a disponibilidade para realizar a desmontagem e pesagem dos seus componentes.

No dia 17 de novembro de 2022 o forno convencional foi desmontado na garagem da residência da autora para medir e pesar cada componente do dispositivo. As medidas de alguns componentes foram retiradas do manual do produto fornecido pela fabricante, outras foram aferidas *in loco* utilizando paquímetro e trena.

A pesagem dos componentes foi realizada após a desmontagem com auxílio de duas balanças digitais, sendo uma com capacidade de até 10 kg e outra de até 200 kg. Superfícies planas e sem perturbações externas foram utilizadas para acomodar as balanças. No início de cada pesagem, a balança foi tarada, o objeto de análise foi inserido e a leitura de massa apresentada no visor. Cada componente do dispositivo foi pesado cinco vezes, o valor e registrado e uma média amostral foi calculada a partir de uma série de dados coletados.

Nessa pesquisa, a depender do local em que os alimentos são comumente cozinhados foram respeitados, ou seja, se a refeição é feita nos queimadores os cálculos envolvendo esse procedimento considerou a eficiência do queimador usado.

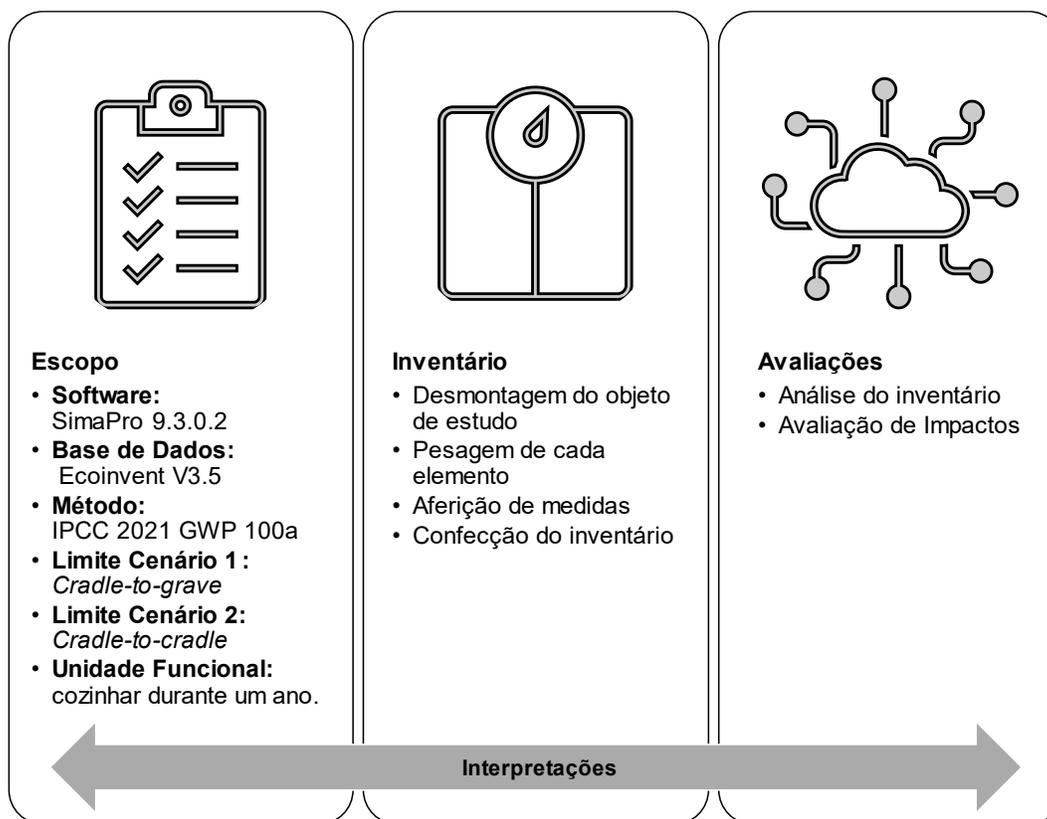
A vazão e a eficiência dos queimadores que compõe o dispositivo são 3 kW (62,5% (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA - INMETRO, 2012) e 1,7kW (53,2% (INMETRO, 2012)) da boca pequena e do compartimento forno, respectivamente. O equipamento usa o GLP vendido em botijões de 13 kg (equivalente a 598,13 MJ).

### 3.3 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)

A ACV foi desenvolvida com o software Simapro 9.3.0.2 (SIMAPRO, 2022), por ser um programa líder mundial nesse tipo de avaliação e apresentar uma extensa base de dados existente, além de seguir as recomendações das normas ISO 14040 (2006) e 14044 (2006). A base de dados escolhida para o estudo foi a Ecoinvent V3.5 (2018) por conter uma ampla biblioteca de inventários com valores de cargas ambientais (entradas e saídas de materiais, substâncias e energia) associadas ao ciclo de vida.

O IPCC lista os prováveis impulsionadores das mudanças climáticas em períodos de 20, 100 e 500 anos (FORSTER *et al.*, 2021). Devido às preocupações com o aquecimento global, o método de avaliação de impacto ambiental selecionado foi o IPCC 2021 GWP 100a (2021), que contabiliza as emissões de GEE, expressa em kg CO<sub>2</sub>-eq, ao longo de um horizonte temporal de 100 anos (ponto médio).

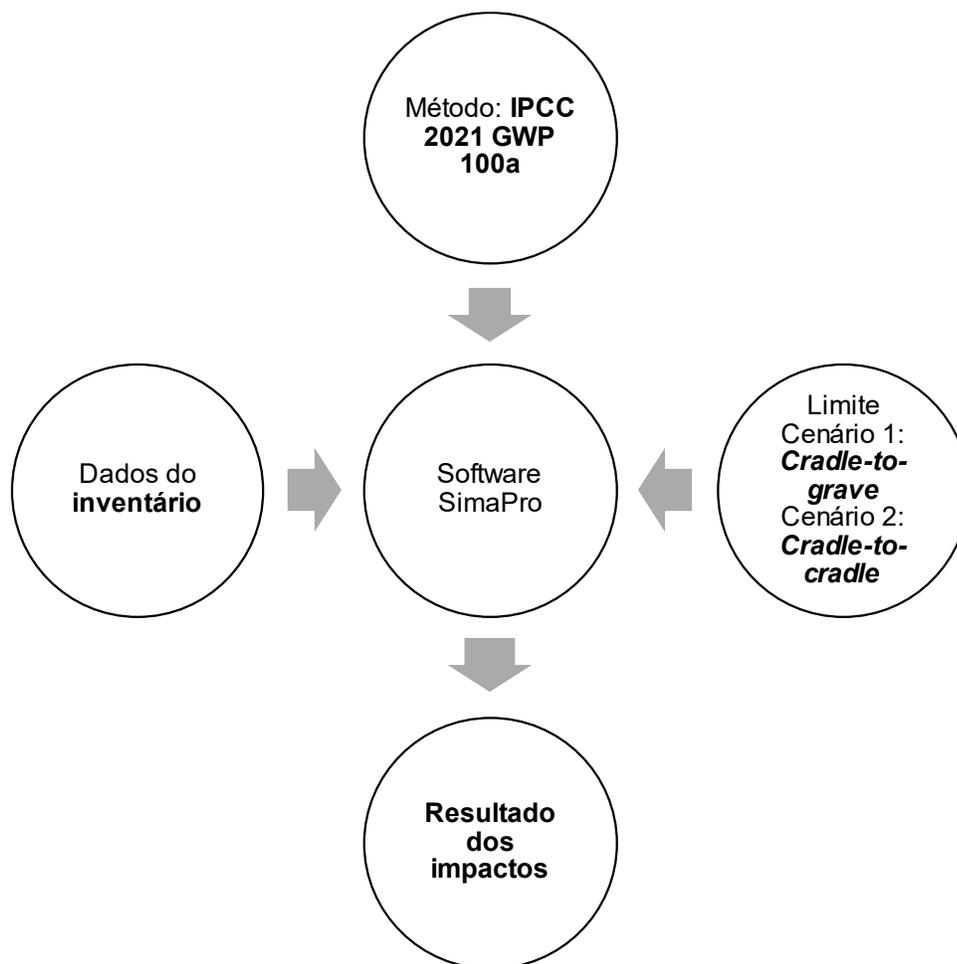
Figura 16: Fluxograma da ACV.



Fonte: Elaborado pela autora.

De posse de todas as informações necessárias sobre os equipamentos, o *software* Simapro é configurado com o método previamente escolhido e a base de dados, em seguida é alimentado com os dados dos inventários, os valores referentes aos transportes e o tipo de descarte (com e sem reciclagem de materiais), gerando assim o resultado sobre os impactos do objeto de estudo, como esquematizado na Figura 17.

Figura 17: Alimentação do Software SimaPro para fazer a ACV.



Fonte: Elaborado pela autora.

A fim de quantificar os impactos gerados pelos objetos de estudo foi escolhida a abordagem do tipo atribucional, assim as informações sobre as prováveis consequências de mudanças dentro da cadeia produtiva e os efeitos indiretos que podem ocorrer dentro e fora do seu ciclo de vida não foram computados.

### 3.3.1 Forno solar

No estudo foi considerada a composição do forno solar, mostrada na Tabela 3. A estrutura da caixa do forno foi confeccionada utilizando aço e madeira; nas laterais o poliestireno expandido foi aplicado para promover o isolamento térmico. Um vidro

simples foi assentado sobre a caixa para aprisionar a radiação solar. Para o refletor externo, o espelho, considerou-se uma camada de tinta refletiva de alumínio (50nm) sobre o vidro desta superfície (ABNT, 2005b). Assim, o vidro utilizado na superfície transparente (7,20kg) e na fabricação do espelho (7,20kg) foram somados e apresentados na tabela.

Tabela 3: Composição material do forno solar.

<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>
Poliestireno Expandido	2,11
Madeira serrada, de madeira mole, seca (10% de umidade)	6,42
Aço	39,98
Vidro plano simples	14,40
Borracha sintética	0,15
Alumínio (tinta refletiva)	0,25
<b>Total</b>	<b>63,31</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Diferentes materiais são utilizados nas embalagens das prateleiras de aço e do kit de rodinhas, como mostrado na Tabela 4. Os demais elementos não foram embalados.

Tabela 4: Embalagens dos materiais do forno solar.

<b>Tipo de embalagem</b>	<b>Peso (kg)</b>
Papelão	0,40
Poliestireno Expandido	0,10
Plástico – polietileno de baixa densidade (PEBD)	0,01
<b>Total</b>	<b>0,51</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

As rotas de transporte referente aos itens que compõem o dispositivo são elencadas na Tabela 5.

Tabela 5: Rotas de transportes traçadas pelo *Google Maps* dos materiais que compõem o forno solar.

<b>Material</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ponto de saída/chegada</b>	<b>km</b>	<b>Tipo de Transporte</b>
<b>Poliestireno Expandido</b>	Fábrica/Loja	Cabedelo-PB/ João Pessoa-PB	10	Caminhão (diesel)
	Loja/Cliente	João Pessoa-PB/ João Pessoa-PB	5	Caminhonete (gasolina)
<b>Madeira</b>	Madeira/Cliente	João Pessoa/ João Pessoa-PB	100	Caminhonete (gasolina)
<b>Aço</b>	Fábrica/Loja	João Pessoa-PB/ João Pessoa-PB	15	Caminhão (diesel)
	Loja/Cliente	João Pessoa-PB/ João Pessoa-PB	5	Caminhonete (gasolina)
<b>Vidro e espelho</b>	Fábrica/Loja	Goiana - PE/ João Pessoa-PB	50	Caminhão (diesel)
	Loja/Cliente	João Pessoa-PB/ João Pessoa-PB	5	Caminhonete (gasolina)
<b>Borracha</b>	Fábrica/Loja	João Pessoa-PB/ João Pessoa-PB	15	Caminhão (diesel)
	Loja/Cliente	João Pessoa-PB/ João Pessoa-PB	5	Caminhonete (gasolina)

Fonte: Elaborado pela autora.

A manutenção do dispositivo solar ocorre por meio da limpeza semanal utilizando os materiais listados na Tabela 6. A cada dois meses foi trocado o pano, assim, em um ano, utilizou-se cinco unidades.

Tabela 6: Materiais utilizados na limpeza semanal do forno solar.

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>
Água de torneira	700 ml
Detergente	20 ml
Álcool	70 ml
Pano	1 unidade

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.3.2 Forno convencional

A composição do forno convencional é mostrada na Tabela 7.

Tabela 7: Composição material do forno convencional.

<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>
Ferro fundido	2,16
Alumínio	0,22
Aço	12,79
Vidro plano simples	2,92
Borracha sintética	0,20
Latão	0,07
Aço inox cromo	1,18
Policloreto de vinila - plástico PVC	0,47
<b>Total</b>	<b>20,01</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

As embalagens utilizadas no forno da Esmaltec são expostas na Tabela 10.

Tabela 8: Embalagens dos materiais do forno solar.

<b>Tipo de Embalagem</b>	<b>Peso (kg)</b>
Papelão	1,20
Poliestireno Expandido	0,70
Plástico – polietileno de baixa densidade (PEBD)	0,30
<b>Total</b>	<b>2,20</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

A fábrica da Esmaltec S/A está localizada no distrito Industrial I em Maracanaú no Ceará. Assim, a rota de transporte é exposta na Tabela 9.

Tabela 9: Rota de transporte traçadas pelo *Google Maps* do forno convencional.

<b>Material</b>	<b>Descrição</b>	<b>Ponto de saída/chegada</b>	<b>km</b>	<b>Tipo de Transporte</b>
<b>Forno</b>	Fábrica/Loja	Maracanaú -CE/	700	Caminhão (diesel)
		João Pessoa-PB		
<b>Esmaltec</b>	Loja/Cliente	João Pessoa-PB/	10	Caminhão (diesel)
		João Pessoa-PB		

Fonte: Esmaltec, 2023.

A manutenção do dispositivo convencional consiste em uma limpeza semanal (Tabela 10) e na troca dos acessórios (mangueira, válvula de segurança e abraçadeira) após a sua vida útil, que é de cinco anos (Tabela 11), (ABNT, 1999; ABNT, 2005a). Já a vida útil do pano utilizado para a limpeza, é dois meses.

Tabela 10: Materiais utilizados na limpeza semanal do forno convencional.

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>
Água de torneira	500 ml
Detergente	10 ml
Álcool	50 ml
Pano	1 unidade

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 11: Acessórios do forno convencional.

<b>Item</b>	<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>
Mangueira	PVC flexível	0,200
Válvula de segurança	Aço carbono	0,010
	Aço	0,140
Abraçadeira	Borracha	0,005
	Latão	0,015

Fonte: Elaborado pela autora.

Além das emissões associadas ao forno convencional em si (composição do material) estão as emissões associadas ao consumo de GLP. Os impactos relacionados ao GLP referem-se ao gás, ao botijão e ao transporte. São 172 km percorridos com o botijão cheio (28 kg) e mais 172 km com o botijão vazio (15 kg) (COPAGAZ, 2023).

### 3.3.3 Quantificação das Emissões

Na quantificação e contabilidade de emissões de sistemas energéticos ( $E_{total}$ ), considerou-se uma contribuição às emissões fixas ( $E_{fixas}$ ), referente à construção do equipamento, e uma parcela de emissões referentes à operação ( $E_{operacionais}$ ), como mostrado na Equação (1).

$$E_{total} = E_{fixas} + E_{operacionais} \quad (1)$$

As emissões referentes à construção do equipamento é o somatório das parcelas do impacto de cada material ( $E_{equipamento}$ ) que compõe o forno solar, a do transporte ( $E_{transporte}$ ) e a da embalagem ( $E_{embalagem}$ ), expressa na Equação (2). As emissões relacionadas aos processos de montagem e aos tratamentos térmicos industriais que cada material passou durante a fabricação do produto estão embutidas nos valores apresentados pelo *software*.

$$E_{fixas} = E_{equipamento} + E_{transporte} + E_{embalagem} \quad (2)$$

Para as emissões do equipamento tem-se a Equação (3).

$$E_{equipamento} = \sum E_{m} \quad (3)$$

onde  $E_m$  refere-se à magnitude das emissões referente a cada material que compõe o objeto de estudo.

Para o cálculo das emissões referente ao transporte ( $E_{\text{transporte}}$ ) são considerados a distância percorrida, o tipo de transporte e massa dos itens transportados, como mostra a Equação (4).

$$E_{\text{transporte}} = \sum (E_{\text{tt}} \cdot D \cdot m) \quad (4)$$

Onde  $E_{\text{tt}}$  é a magnitude do impacto do meio de transporte utilizado na rota, dado em kg CO<sub>2</sub>-eq/tkm, D refere-se a distância percorrida pelo tipo de transporte em análise (km) e m é a massa total que foi transportada (t).

No estudo, os tipos de transporte utilizados nas rotas são mostrados na Tabela 5 e Tabela 9.

A Equação (5) define as emissões fixas anuais.

$$E_{\text{fixas}} = \frac{E_{\text{fixas total}}}{\text{Vida útil}} \quad (5)$$

onde  $E_{\text{fixas total}}$  refere-se ao montante de emissões calculado a partir dos dados de inventário da Tabela 3 e Tabela 7, respectivamente, forno solar e convencional. A vida útil do forno solar foi de 20 anos e do forno convencional foi de 10 anos, na análise foi considerado que ambos os dispositivos foram construídos com materiais novos.

Na ACV foi considerado inicialmente um cenário de descarte representativo da realidade, onde todos os materiais foram encaminhados ao aterro sanitário (cenário 1). Depois, considerou-se o cenário 2, o qual alguns materiais foram encaminhados para reciclagem e outros para o aterro, ver Tabela 12. Dos materiais recicláveis, tem-se o vidro (100%), espelho (100%), plástico PVC (100%), alumínio (100%), aço (90%), ferro (90%) e o inox (90%), já os demais materiais (poliestireno expandido, madeira, borracha e latão) permanecem tendo o aterro como destino.

Tabela 12: Percentual de reciclagem de diferentes materiais.

<b>Material</b>	<b>Percentual de Reciclagem</b>
Aço	90%
Alumínio fundido	100%
Alumínio (tinta refletiva)	0%
Borracha sintética	0%
Ferro fundido	90%
Aço inox cromo	90%
Latão	0%
Madeira serrada, de madeira mole, seca (10% de umidade)	0%
Policloreto de vinila - plástico PVC	100%
Poliestireno Expandido	0%
Vidro plano simples	100%

Fonte: Elaborado pela autora.

As emissões operacionais foram calculadas de acordo com a Equação (6).

$$Emissões_{operacionais} = Emissões_{combustível} + Emissões_{manutenção} \quad (6)$$

$Emissões_{combustível}$  refere-se ao consumo de recursos (combustível) para a operação do dispositivo, e  $Emissões_{manutenção}$  aglutina a troca de peças e limpeza. Ambos os termos são expressos em kg CO<sub>2</sub>-eq/ano.

$Emissões_{combustível}$  são nulas para o forno solar, pois não há emissões associadas à utilização do recurso solar. Já  $Emissões_{manutenção}$  refere-se à limpeza semanal do equipamento, usando água, detergente e um pano para limpeza.

A vida útil dos fornos é superior ao dos materiais de limpeza e das peças acessórios usados na manutenção. Assim, na análise das emissões associadas as limpezas e as trocas de peças foram contabilizadas as quantidades de materiais consumidos ao longo do ano, a partir da vida útil de cada elemento previamente determinada pelas normas vigentes.

Para o forno convencional, por utilizar o GLP para o seu funcionamento, houve contabilização das  $Emissões_{combustível}$ .  $Emissões_{manutenção}$  refere-se à limpeza semanal do

equipamento, usando água, detergente e um pano para limpeza, e inclui a troca de peças programada (válvula, mangueira, abraçadeiras) ao longo de sua vida útil.

A energia específica do GLP é definida pelo somatório do produto entre a fração mássica e o poder calorífico inferior (PCI) dos gases que o compõe (Propano  $C_3H_8$  e butano  $C_4H_{10}$ ), ver Equação (7).

$$PCI_{GLP} = \sum (x \cdot PCI_{gás}) \quad (7)$$

onde  $x$  é a fração mássica e  $PCI_{gás}$  é o poder calorífico do gás analisado em MJ/kg.

Para conhecer a energia referente ao cozimento de cada alimento no forno convencional, é usada a Equação (8) onde é considerado a vazão e a eficiência do queimador utilizado, bem como o tempo de cozimento.

$$Energia_{(combustível)} = V_Q \cdot \eta_Q \cdot t_c \quad (8)$$

onde a  $Energia_{(combustível)}$  é a energia utilizada durante o cozimento (MJ),  $V_Q$  é a vazão do queimador,  $\eta_Q$  é a eficiência do queimador e  $t_c$  é o tempo de cozimento da refeição analisada.

A fim de conhecer a quantidade de botijões ( $Q_b$ ) utilizados durante os cozimentos é utilizado a Equação (9).

$$Q_b = \frac{Energia_{(combustível)}}{Energia_{(GLP13kg)}} \quad (9)$$

A seguir, considerou-se o perfil de uma família para utilização do forno. Nessa família de referência aqui escolhida, são realizadas a cocção de três refeições diárias e de um bolo semanal. A alocação do tempo anual para utilização dos dispositivos é mostrada na Tabela 13. Isso foi feito para poder gerar resultados comparáveis com estudos existentes.

Tabela 13: Alocação do tempo anual do uso de dispositivos.

	<b>Forno Solar</b>	<b>Forno Convencional</b>
Tempo para cada refeição	80 minutos	40 minutos
Tempo para cada bolo	80 minutos	40 minutos
Tempo de uso do dispositivo por ano	91.520 minutos	45.760 minutos
Percentual do uso do forno para refeições	95,5%	93,3%
Percentual do uso do forno para bolos	4,5%	6,7%

Fonte: Elaborado pela autora.

No estudo de Pereira Neto *et al.* (2021), o tempo médio de cozimento das refeições e bolos no forno solar é aproximadamente o dobro do tempo gasto em comparação do forno convencional. Este foi o critério aplicado para estimativa de tempo de cozimento neste trabalho.

### 3.4 AVALIAÇÃO FINANCEIRA

A avaliação financeira dos fornos tem o propósito de compreender o impacto financeiro referente à aquisição, operação e manutenção, ou seja, quais são os custos associados a cada opção: forno solar vs. forno convencional.

A análise dos custos tem carácter estacionário, ou seja, não considera a projeção de quaisquer flutuações sobre os preços dos elementos estudados.

A fim de compreender o impacto financeiro de adquirir quaisquer dos dispositivos, é necessário, primeiramente, fazer o levantamento do custo que envolve a produção de um forno solar e do custo de um forno convencional, além dos acessórios necessários para manutenção. Para tanto, realizou-se uma pesquisa por telefone no mercado local da cidade de João Pessoa, no mês de maio de 2023.

Os preços dos materiais utilizados na construção do forno solar são listados na Tabela 14.

Tabela 14: Custo dos materiais do forno solar.

<b>Material</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo (R\$)</b>	<b>Referência</b>
Isopor	4,50	1 folha (100 x 50cm)	4,50	Dispor (2023)
Madeira	60,00	1 m <sup>2</sup>	60,00	Jó Madeiras (2023)
Aço	260,00	1 unidade*	260,00	Politex (2023)
Vidro	230,00	1 m <sup>2</sup>	230,00	Master Vidros (2023)
Espelho	280,00	1 m <sup>2</sup>	280,00	Master Vidros (2023)
Kit de rodinhas	22,00	1 kit	22,00	Ferreira Costa (2023)
<b>Total</b>			<b>856,00</b>	

\* Refere-se a uma estante.

Fonte: Construído a partir de pesquisa de preços realizada pela Autora (maio/2023).

O custo inicial de cozinhar utilizando o forno convencional (Tabela 15) é o preço de adquirir o equipamento, o casco<sup>1</sup> do botijão de gás e os acessórios que conectam o forno ao botijão. Esse casco é vendido separadamente, ou completo, quando se trata do botijão cheio de GLP. O valor do GLP faz parte do custo operacional, não sendo considerado nos custos iniciais.

Tabela 15: Custo do forno convencional.

<b>Item</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo (R\$)</b>	<b>Referência</b>
Forno Esmaltec	810,00	1 unidade	810,00	Magazine Luiza (2023)
Mangueira	20,00	1 unidade	20,00	Ferreira Costa (2023)
Abraçadeira	1,50	2 unidades	3,00	Ferreira Costa (2023)
Válvula de segurança	25,00	1 unidade	25,00	Ferreira Costa (2023)
Casco do botijão	200,00	1 unidade	200,00	Copagaz (2023)
<b>Total</b>			<b>1.058,00</b>	

Fonte: Construído a partir de pesquisa de preços realizada pela Autora (maio/2023).

<sup>1</sup> Casco é o termo popular para se referir a estrutura física do botijão de gás de cozinha.

Como a mangueira, as abraçadeiras e a válvula de segurança têm validade de 5 anos (ABNT, 1999; ABNT, 2005a), durante a vida útil do equipamento há necessidade de realizar trocas desses acessórios. Assim, os custos desses acessórios entram no custo inicial, como também no custo operacional.

O custo operacional, expressa pela Equação (10) é o somatório do custo da manutenção ( $Custo_{manutenção}$ ), definida pela Equação (11), e do custo do combustível utilizado para cozinhar ( $Custo_{combustível}$ ), ver Equação (12).

$$Custo_{operacional} = Custo_{manutenção} + Custo_{combustível} \quad (10)$$

A despesa com a manutenção é a soma dos custos dos materiais de limpeza ( $Custo_{limpeza}$ ) e das peças a serem substituídas ( $Custo_{peças}$ ).

$$Custo_{manutenção} = Custo_{limpeza} + Custo_{peças} \quad (11)$$

Para a manutenção dos equipamentos, seguindo o material disposto na Tabela 6 e Tabela 10, realizou-se pesquisa de mercado em 10 de maio de 2023 na plataforma virtual do Carrefour (CARREFOR, 2023) e os custos por material estão mostrados na Tabela 16. O preço da água foi retirado da fatura do mês de maio de 2023 da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA (CAGEPA, 2023).

No forno solar, o custo da limpeza refere-se aos preços dos itens listados na Tabela 6 e por não haver troca de peças, o custo operacional é igual ao custo da limpeza. Já para o forno convencional, o custo da manutenção foi o somatório dos custos dos materiais de limpeza mostrados na Tabela 10 e dos custos com as peças que serão trocadas ao longo da vida útil do equipamento, ou seja, a mangueira, abraçadeira e a válvula de segurança.

Tabela 16: Custo dos materiais de limpeza para fornos.

Material	Custo (R\$)	Referência
Água de torneira	R\$ 9,26/m <sup>3</sup>	CAGEPA (2023)
Detergente	R\$ 2,49/500 ml	Carrefour (2023)
Álcool	R\$ 6,69/L	Carrefour (2023)
Pano	R\$ 6,49/unidade	Carrefour (2023)

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a análise do custo operacional, foi considerado o preço médio do gás de cozinha do ano de 2022 na Paraíba, no valor de R\$ 114,44 (PROCURADORIA DE PROTEÇÃO E DEFESA DO CONSUMIDOR -PROCON, 2023). Como as refeições são feitas utilizando o queimador pequeno e os bolos o queimador grande, o consumo de energia do GLP para diferentes cozimentos é dado pela Equação (12).

O custo referente ao gás utilizado no cozimento das refeições ( $Custo_{Combustível}$ ) é dado pela Equação (12).

$$Custo_{Combustível} = Custo_{(GLP_{13\text{ kg}})} \times \frac{Energia_{(combustível)}}{Energia_{(GLP_{13\text{ kg}})}} \quad (12)$$

Na Equação (12),  $Custo_{(GLP_{13\text{ kg}})}$  refere-se ao preço de compra do botijão (R\$/botijão),  $Energia_{(combustível)}$  refere-se à quantidade de MJ de GLP foram utilizados durante o cozimento, e  $Energia_{(GLP_{13\text{ kg}})}$  refere-se a quantidade de energia equivalente a 13kg de GLP (MJ/botijão).

A fim de compreender o tempo necessário para que o investimento do forno solar “se pague” (*payback*), o tempo de retorno do investimento calcula-se pela Equação (13) (LUQUINI *et al.* 2021).

$$PayBack = \frac{Custo_{FS}}{n \times Custo_{(GLP_{13\text{ kg}})}} \quad (13)$$

onde  $\text{Custo}_{\text{FS}}$  é o preço do forno solar (R\$),  $n$  é a quantidade de botijões consumidos em um ano, calculado pela Equação (14), e  $\text{Custo}_{(\text{GLP}_{13 \text{ kg}})}$  refere-se ao preço do GLP vendido em botijões de 13kg (R\$).

$$n = \frac{\sum \text{Energia}_{(\text{combustível})}}{\text{Energia}_{(\text{GLP}_{13 \text{ kg}})}} \quad (14)$$

Onde  $\sum \text{Energia}_{(\text{combustível})}$  refere-se ao somatório das energias dos cozimentos analisados (MJ) e  $\text{Energia}_{(\text{GLP}_{13 \text{ kg}})}$  é a energia que há em um botijão de GLP de 13kg (MJ/botijão).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

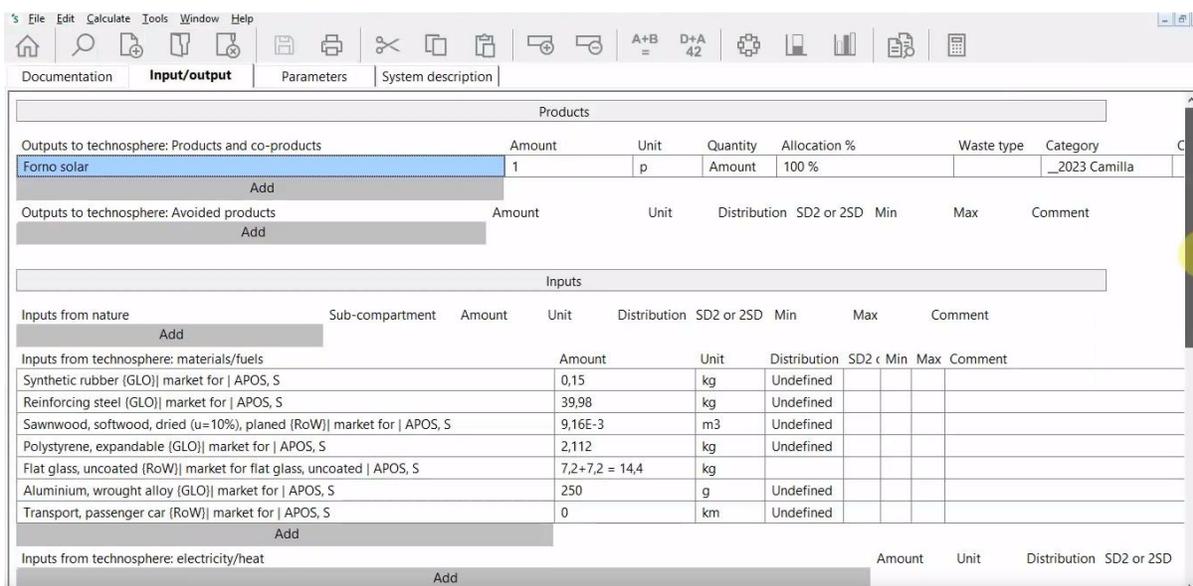
Os resultados serão apresentados em duas partes, sendo a primeira referente à análise ambiental, e a segunda referente à análise econômica.

### 4.1 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

#### 4.1.1 Forno solar

Utilizando o *software* Simapro, os valores de entrada e saída do sistema do forno solar são inseridos, como apresentado na Figura 18. Após essa etapa, os parâmetros de análise são escolhidos e iniciado a avaliação.

Figura 18: Interface de alimentação de dados do *software* Simapro.



The screenshot shows the Simapro software interface with the 'Input/output' tab selected. The interface is divided into several sections for data entry:

- Products:** A table with columns for 'Amount', 'Unit', 'Quantity', 'Allocation %', 'Waste type', and 'Category'. One entry is visible: 'Forno solar' with an amount of 1 and unit 'p'.
- Outputs to technosphere: Avoided products:** A section with columns for 'Amount', 'Unit', 'Distribution', 'SD2 or 2SD', 'Min', 'Max', and 'Comment'.
- Inputs:** A section with columns for 'Sub-compartment', 'Amount', 'Unit', 'Distribution', 'SD2 or 2SD', 'Min', 'Max', and 'Comment'. It is further divided into:
  - Inputs from nature:** A section with an 'Add' button.
  - Inputs from technosphere: materials/fuels:** A table with columns for 'Amount', 'Unit', 'Distribution', 'SD2 or 2SD', 'Min', 'Max', and 'Comment'. Entries include:
 

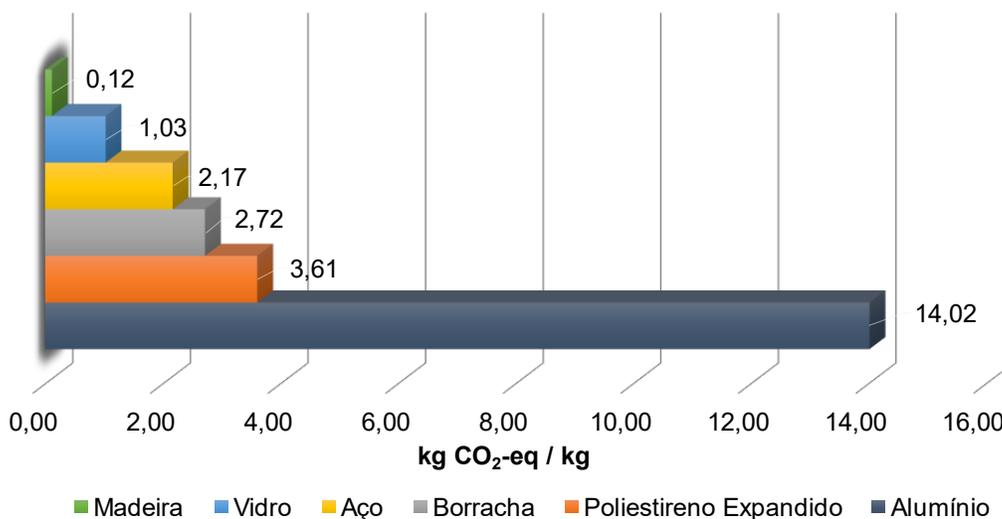
Material	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment
Synthetic rubber (GLO) market for   APOS, S	0,15	kg	Undefined				
Reinforcing steel (GLO) market for   APOS, S	39,98	kg	Undefined				
Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed (RoW) market for   APOS, S	9,16E-3	m3	Undefined				
Polystyrene, expandable (GLO) market for   APOS, S	2,112	kg	Undefined				
Flat glass, uncoated (RoW) market for flat glass, uncoated   APOS, S	7,2+7,2 = 14,4	kg					
Aluminium, wrought alloy (GLO) market for   APOS, S	250	g	Undefined				
Transport, passenger car (RoW) market for   APOS, S	0	km	Undefined				
  - Inputs from technosphere: electricity/heat:** A section with columns for 'Amount', 'Unit', 'Distribution', and 'SD2 or 2SD'.

Fonte: Simapro (2022).

O cenário 1 avalia o impacto do ciclo de vida do forno solar tendo como destino o aterro sanitário. Já no cenário 2, a avaliação ocorreu considerando a reciclagem de alguns materiais (vidro e aço) de acordo com seu respectivo percentual de reciclagem (Tabela 12).

A Figura 19 mostra as emissões específicas para cada tipo de material. Dos materiais analisados, a madeira apresentou baixo impacto ambiental para cada kilo dele. Enquanto, o alumínio teve a maior emissão de GEE (sete vezes maior que o aço, material com propriedades metálicas).

Figura 19: Emissões de gases de efeito estufa por kg de material.



Fonte: Construído com base nos dados de Simapro (2022).

A quantidade de CO<sub>2</sub>-eq por kilograma de cada tipo de material utilizado nas embalagens é apresentada na Figura 20, enquanto na Tabela 17 é apresentado o impacto total de cada tipo de embalagem usado nos materiais para construir o forno solar.

Figura 20: Emissões de gases de efeito estufa para diferentes tipos de embalagens.



Fonte: Construído com base nos dados de Simapro (2022).

Com base nos dados da Figura 19, a composição material do forno solar (Tabela 3) e a Equação (3), obtém-se emissões de 113,66 kg CO<sub>2</sub>-eq para o forno solar, conforme pode ser visualizado na Tabela 17.

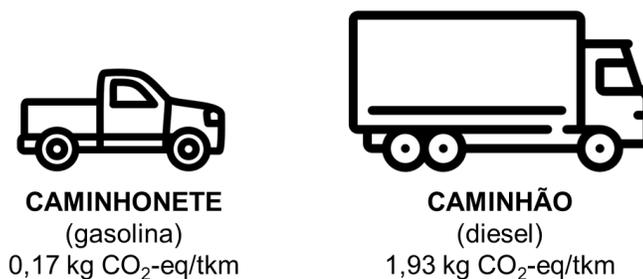
Tabela 17: Emissões de gases de efeito estufa para o forno solar considerando os diferentes cenários.

	<b>Descrição</b>	<b>Cenário 1</b> (Destino: aterro)	<b>Cenário 2</b> (Destino: aterro + reciclagem)
<b>Equipamento</b>	Poliestireno Expandido	7,62 kg CO <sub>2</sub> -eq	7,62 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Madeira	0,75 kg CO <sub>2</sub> -eq	0,75 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Aço	86,80 kg CO <sub>2</sub> -eq	86,80 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Vidro	14,57 kg CO <sub>2</sub> -eq	14,57 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Borracha	0,41 kg CO <sub>2</sub> -eq	0,41 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Alumínio (tinta refletiva)	3,51 kg CO <sub>2</sub> -eq	3,51 kg CO <sub>2</sub> -eq
<b>Embalagem</b>	Papelão	1,29 kg CO <sub>2</sub> -eq	1,29 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Poliestireno Expandido	0,36 kg CO <sub>2</sub> -eq	0,36 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Plástico (PEBD)	0,03kg CO <sub>2</sub> -eq	0,03kg CO <sub>2</sub> -eq
<b>Transporte</b>	Rodoviário	1,75 kg CO <sub>2</sub> -eq	1,75 kg CO <sub>2</sub> -eq
<b>Descarte</b>	Aterro	38,70 kg CO <sub>2</sub> -eq	7,78 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Reciclagem – Aço (90%)		- 61,00 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Reciclagem – Vidro (100%)		- 17,95 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Reciclagem – Papelão		- 0,05 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Reciclagem – Plástico		- 0,02 kg CO <sub>2</sub> -eq
<b>Total</b>		<b>155,79 kg CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>45,85 kg CO<sub>2</sub>-eq</b>

Fonte: Adaptado de SimaPro (2022).

A Figura 21 apresenta o impacto ambiental dos diferentes meios de transportes considerados no estudo.

Figura 21: Emissões de gases de efeito estufa para diferentes tipos de transportes.



Fonte: Construído com base nos dados de Simapro (2022).

Ao considerar as rotas descritas na Tabela 5, os dados da Figura 21 e a Equação (4), as emissões associadas ao transporte corresponde a 1,75 kg CO<sub>2</sub>-eq. Quando o descarte do equipamento é o aterro, são gerados 38,70 kg CO<sub>2</sub>-eq. Assim, o total das emissões de gases de efeito estufa para o forno solar considerando aterro sanitário é de 155,79 kg CO<sub>2</sub>-eq.

Considerando a composição dos equipamentos, o aço é o material que tem maior contribuição nas emissões, mais de 70% de CO<sub>2</sub>-eq, seguido do vidro (aproximadamente 13% CO<sub>2</sub>-eq) e do poliestireno expandido (6,7% de CO<sub>2</sub>-eq). O alumínio no trabalho de Mendoza *et al.* (2019) é o item que mais contribui com as emissões (aproximadamente 53% das emissões totais), enquanto no estudo de Chakma *et al.* (2021) é destacado o alumínio (cerca de 57%), aço (25%) e vidro (11%) como os que mais contribuem com os impactos ambientais.

Ao verificar a quantidade de kg CO<sub>2</sub>-eq para 1 kg de cada material é observado que o alumínio é o componente que tem maior emissão de CO<sub>2</sub>-eq do por kg, mas que por ser usado em baixa quantidade apresentou baixo impacto no produto em análise, como é mostrado na Tabela 17. Da mesma maneira, a borracha que possui maior impacto ambiental que o do vidro, no forno solar tem baixa contribuição, devido a pequena quantidade utilizada na produção.

No cenário 2, quando os materiais que compõe o equipamento são reciclados, há uma redução de 109,87 kg CO<sub>2</sub>-eq do impacto, esse valor é equivalente a aproximadamente 70% da carga total emitida, conforme pode ser observado na Tabela 17. O vidro e o aço, materiais que mais impactaram, podem ser reciclados e reutilizados possibilitando a redução do impacto ambiental de 17,95 kg CO<sub>2</sub>-eq e 61,0 kg CO<sub>2</sub>-eq, respectivamente. O aproveitamento do aço durante a reciclagem é de 90% e o do vidro é de 100%. O alumínio nesse dispositivo refere-se a tinta e, por esse motivo, ele não pode ser reciclado. Os demais componentes (madeira, borracha e poliestireno expandido) no final da vida útil, devem ser destinados para o aterro.

A emissão relacionada ao vidro é de 14,57 kg CO<sub>2</sub>-eq, ao reciclá-lo são evitados 17,95 kg CO<sub>2</sub>-eq, gerando assim um crédito. Isso ocorre, pois segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Vidro – ABIVIDRO (2023), o vidro tem um ciclo de vida infinito, ou seja, durante a fabricação de novas embalagens desse material, por exemplo,

é possível usar o caco pós consumo, sem ter nenhuma perda no processo. Assim, a reciclagem do vidro, além de reduzir a quantidade de matéria-prima retirada do meio ambiente, evita que GEE sejam emitidos e que créditos de carbono sejam gerados.

O plástico PEBD e o papelão usados nas embalagens podem ser reciclados, e juntos, evitam 0,07 kg CO<sub>2</sub>-eq. Comparando os dados das Tabela 17, observa-se que houve uma redução de 70,57% nas emissões de GEE quando foi considerado a reciclagem de alguns materiais que antes iam para o aterro sanitário (de 155,79 kg CO<sub>2</sub>-eq para 45,85 kg CO<sub>2</sub>-eq).

Sabendo que a vida útil do forno solar foi de 20 anos e utilizando a Equação (5), as emissões fixas anuais associadas a esse dispositivo são Emissões<sub>fixas total</sub> = 7,79 kg CO<sub>2</sub>-eq quando o aterro sanitário é o destino. No cenário em que a reciclagem é considerada, as emissões fixas são Emissões<sub>fixas total</sub> = 2,29 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano. Essas emissões devem ser ainda divididas entre o cozimento de refeições e bolos, segundo a alocação de tempo mostrada anteriormente na Tabela 13 (95,5% para refeições e 4,50% para bolos). As emissões fixas estão resumidas na Tabela 18.

Tabela 18: Emissões fixas associadas ao forno solar.

Forno Solar		Emissões <sub>fixas</sub>
Refeições diárias	Aterro sanitário	7,44 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
	Reciclagem	2,19 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
Bolo semanal	Aterro sanitário	0,35 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
	Reciclagem	0,10 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano

Fonte: Construído a partir dos resultados de SimaPro (2022).

ACV feita na pesquisa de Landi *et al.* (2019) se ateve em tecnologias para cozimento, ou seja, apenas as emissões fixas sem a alocação em refeições. Já no trabalho de Favi *et al.* (2018) o cenário de análise são pratos italianos (espaguete, omeletes etc). Assim, uma comparação conclusiva sobre eles não é possível de ser feita, mas possibilita a compreensão da alocação do impacto diante das refeições.

No estudo de Carvalho *et al.* (2020) é quantificado o impacto da produção de bolos em uma cozinha industrial referindo-se as emissões de operação e dos ingredientes utilizados na produção de diferentes bolos; na pesquisa foi evidenciado que o impacto de bolo de cenoura (0,00142 kg CO<sub>2</sub>-eq/kcal) foi mais alto que o do bolo inglês (0,00081

kg CO<sub>2</sub>-eq/kcal) e que, em ambos os tipos de bolos, o ingrediente que mais contribuiu foi o ovo. Assim, a depender das escolhas feitas, a pessoa poderá contribuir com a redução de emissão de GEE.

Sabendo que o forno solar funciona a partir da radiação solar, não há emissões de GEE referente ao combustível. Portanto, Emissões<sub>combustível</sub> = 0.

Para a manutenção do equipamento solar não foi considerada a troca de nenhuma peça, apenas a limpeza semanal. Assim, utilizando a Equação (6) as emissões operacionais do forno solar incluem apenas as operações semanais de limpeza (Emissões<sub>operacionais</sub> = Emissões<sub>manutenção</sub>), utilizando os materiais descritos na Tabela 6Tabela 17. Ao longo de um ano, o consumo de água de torneira é de 36,40 litros, utilizando-se 1.040 ml de detergente, 3,64 litros de álcool e seis panos de limpeza. Essas emissões operacionais totalizam Emissões<sub>operacionais</sub> = 15,61 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano, ver Tabela 19.

Tabela 19: Emissões operacionais associadas as operações de limpeza no forno solar.

<b>Material</b>	<b>Forno Solar</b> <b>Emissões<sub>operacionais</sub></b>
Água de torneira	0,02 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
Detergente	7,33 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
Álcool	6,61 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
Pano	1,65 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
<b>Total</b>	<b>15,61 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano</b>

Fonte: Construído a partir dos resultados de SimaPro (2022).

#### 4.1.2 Forno convencional

A Tabela 20 mostra as emissões de GEE associadas ao forno convencional, quando o destino final é o aterro sanitário (cenário 1) e quando é considerado a reciclagem (cenário 2).

Tabela 20: Emissões de GEE para o forno convencional considerando os diferentes cenários.

	<b>Descrição</b>	<b>Cenário 1</b> (Destino: aterro)	<b>Cenário 2</b> (Destino: aterro + reciclagem)
<b>Equipamento</b>	Ferro	3,91 kg CO <sub>2</sub> -eq	3,91 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Alumínio	3,08 kg CO <sub>2</sub> -eq	3,08 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Aço	27,77 kg CO <sub>2</sub> -eq	27,77 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Vidro	2,96 kg CO <sub>2</sub> -eq	2,96 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Borracha	0,54 kg CO <sub>2</sub> -eq	0,54 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Latão	0,47 kg CO <sub>2</sub> -eq	0,47 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Inox	5,82 kg CO <sub>2</sub> -eq	5,82 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Plástico PVC	1,20 kg CO <sub>2</sub> -eq	1,20 kg CO <sub>2</sub> -eq
<b>Embalagem</b>	Papelão	1,54 kg CO <sub>2</sub> -eq	1,54 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Poliestireno Expandido	2,53 kg CO <sub>2</sub> -eq	2,53 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Plástico (PEBD)	0,93 kg CO <sub>2</sub> -eq	0,93 kg CO <sub>2</sub> -eq
<b>Transporte</b>	Rodoviário	2,73 kg CO <sub>2</sub> -eq	2,73 kg CO <sub>2</sub> -eq
<b>Descarte</b>	Aterro	13,57 kg CO <sub>2</sub> -eq	1,04 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Reciclagem – aço, ferro e inox		-24,61 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Reciclagem - vidro		-3,64 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Reciclagem – alumínio		-4,81 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Reciclagem – plástico PVC		-0,74 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Reciclagem – plástico (PEBD)		-0,52 kg CO <sub>2</sub> -eq
	Reciclagem - papelão		-0,17 kg CO <sub>2</sub> -eq
<b>Total</b>		<b>67,05 kg CO<sub>2</sub>-eq</b>	<b>20,03 kg CO<sub>2</sub>-eq</b>

Fonte: Construído a partir dos resultados de SimaPro (2022).

As emissões referente as embalagens utilizadas para proteção do equipamento da Esmaltec durante o seu transporte foram computadas e apresentadas na Tabela 20, o valores utilizados foram apresentados anteriormente na Figura 20.

As emissões que correspondem ao transporte foram calculadas por meio da Equação (4) utilizando as informações das rotas descritas na Tabela 9 e os dados da Figura 21.

Observa-se que o forno convencional computa 67,05 kg de CO<sub>2</sub>-eq quando o destino é o aterro sanitário, sendo 45,75 kg de emissões referentes ao equipamento, (representando 68,23% do valor final), 5,00 kg das embalagens (7,46%), 2,73 kg do impacto ambiental da rota de transporte do forno convencional (4,07%) e 13,57 kg do descarte (20,24%).

Assim como no forno solar, o aço é o material que tem maior contribuição das emissões relacionada ao equipamento, aproximadamente 60% das emissões seguido do inox (12,72%) e do vidro (6,47%).

Quando ocorre a reciclagem de alguns materiais que compõem o equipamento e a sua embalagem, o impacto é de 20,03 kg CO<sub>2</sub>-eq, como apresentado na Tabela 20. O ferro, o aço e o inox tem 90% de aproveitamento no processo de reciclagem, evitando 24,61 kg CO<sub>2</sub>-eq. O alumínio, o vidro e o plástico PVC tem 100% de aproveitamento, evitando 4,81 kg CO<sub>2</sub>-eq, 3,64 kg CO<sub>2</sub>-eq e 0,74 kg CO<sub>2</sub>-eq, respectivamente. Os demais componentes do equipamento (borracha e latão) no final da vida útil são destinados para o aterro.

Dos materiais usados para embalar o equipamento, o plástico PEBD e o papelão podem ser reciclados. Eles, juntos, ao serem reciclados evitam 0,69 kg CO<sub>2</sub>-eq dos impactos gerados. Comparando os dados da Tabela 20, observa-se que houve uma redução de 70,13% nas emissões de GEE quando a reciclagem é realizada no descarte final dos materiais.

A vida útil do forno convencional é de 10 anos e a Equação (5), as emissões fixas anuais associadas ao uso do forno convencional são  $Emissões_{fixas\ total} = 6,08$  kg CO<sub>2</sub>-eq quando se considera o aterro sanitário como destino. No cenário em que a reciclagem é considerada, as emissões fixas são  $Emissões_{fixas\ total} = 1,57$  kg CO<sub>2</sub>-eq/ano para o forno convencional. Seguindo a mesma metodologia mostrada para o forno solar, as emissões são divididas pela proporção de tempo dedicada a cada atividade ao longo do ano (93,30% para refeições, e 6,70% para bolos), como mostrado na Tabela 21.

Tabela 21: Emissões fixas associadas ao forno convencional.

<b>Forno Convencional</b>		<b>Emissões<sub>fixas</sub></b>
<b>Refeições diárias</b>	Aterro sanitário	5,67 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
	Reciclagem	1,47 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
<b>Bolo semanal</b>	Aterro sanitário	0,41 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
	Reciclagem	0,10 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano

Fonte: Construído a partir dos resultados de SimaPro (2022).

Para o cálculo das emissões operacionais, Equação (6), deve-se contabilizar o consumo de GLP ( $Emissões_{combustível}$ ) e a operação de manutenção ( $Emissões_{manutenção}$ )

que corresponde a limpeza e substituição de peças. Utilizando a Equação (7) obtém-se que o PCI do GLP é 46,01 MJ/kg (Tabela 22).

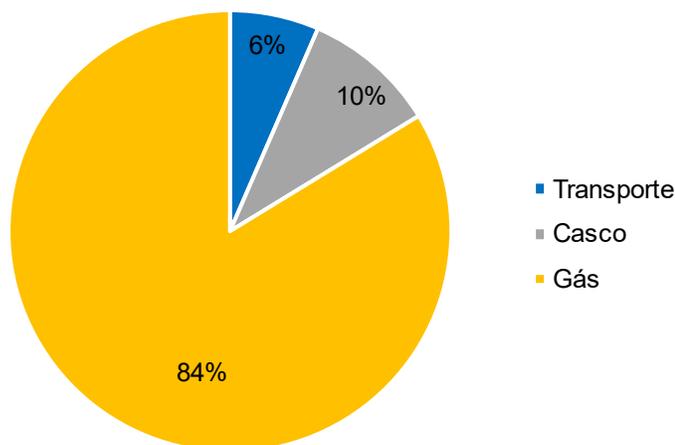
Tabela 22: Cálculo para o Poder Calorífico Inferior do GLP.

Gases	x (fração mássica)	PCI <sub>gás</sub>	x.PCI <sub>gás</sub>
Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	0,4314	46,35 MJ/kg	20,00 MJ/kg
Butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	0,5686	45,75 MJ/kg	26,01 MJ/kg
		<b>Total</b>	<b>46,01 MJ/kg</b>

Fonte: Autora.

Considerando as etapas de transporte, a produção e o uso do GLP, obtém-se que as emissões associadas a 1 MJ de GLP são 0,0312 kg CO<sub>2</sub>-eq. Um botijão de gás de cozinha de 13 kg equivale a 22,27 kg CO<sub>2</sub>-eq sendo 18,65 kg CO<sub>2</sub>-eq do gás, 2,17 kg CO<sub>2</sub>-eq do casco e 1,45 kg CO<sub>2</sub>-eq do transporte do botijão que sai do centro de operação, onde é realizado o envasilhamento do GLP, passa pelo depósito e revendedor local, tendo como destino uma residência. Em um botijão de gás a maior contribuição das emissões refere-se ao gás, como mostra a Figura 22.

Figura 22: Percentual das emissões de uma unidade de botijão de GLP.



Fonte: Construído a partir dos resultados de SimaPro (2022).

Utilizando a Equação (8), considerando a vazão de GLP e o tempo de cozimento, obtém-se consumos de GLP de 2,55 MJ para à cada refeição e 3,83 MJ para cada bolo.

As emissões associadas ao consumo de GLP para diferentes tipos de cocção ao longo de um ano (1.095 refeições e 52 bolos) estão mostradas na Tabela 23.

Tabela 23: Emissões operacionais associadas ao consumo de GLP em forno convencional.

	<b>Refeições Diárias</b>	<b>Bolo Semanal</b>
<b>Consumo de GLP</b>	2.784,60 MJ/ano	199,18 MJ/ano
<b>Quantidade de botijões (<math>Q_b</math>)</b>	4,66 botijões	0,34 botijões
<b>Emissões<sub>combustível</sub> (gás GLP)</b>	86,91 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano	6,34 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
<b>Emissões<sub>casco</sub></b>	10,12 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano	0,74 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
<b>Emissões<sub>combustível</sub> (transporte)</b>	6,73 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano	0,49 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
<b>Emissões<sub>combustível</sub> (gás GLP + transporte)</b>	<b>103,76 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano</b>	<b>7,57 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano</b>

Fonte: Construído a partir dos resultados de SimaPro (2022).

O total das Emissões<sub>combustível</sub> é de 111,33 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano nas configurações da família de referência utilizada no estudo, sendo 96,25 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano referente ao impacto ambiental do gás, 10,86 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano do casco do botijão e 7,22 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano dos botijões (cheio e vazio).

O consumo anual de GLP na família de referência do estudo é de 2.983,78MJ, usando a Equação (14) esse valor corresponde a 5 botijões. No estudo de Chakma *et al.* (2021) a comparação se ateve a quantidade de cilindros que deixariam de ser consumidos ao ser utilizado o forno solar, 5 cilindros de 14,50 kg.

As operações de limpeza semanal do forno convencional totalizam 10,05 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano, ver Tabela 24. Os materiais que mais contribuem com os impactos é o álcool (46,97%) e o detergente (36,42%).

Tabela 24: Emissões operacionais associadas as operações de limpeza no forno convencional.

<b>Material</b>	<b>Forno Solar</b> <b>Emissões<sub>operacionais</sub></b>
Água de torneira	0,02 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
Detergente	3,66 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
Álcool	4,72 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
Pano	1,65 kg CO <sub>2</sub> -eq/ano
<b>Total</b>	<b>10,05 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano</b>

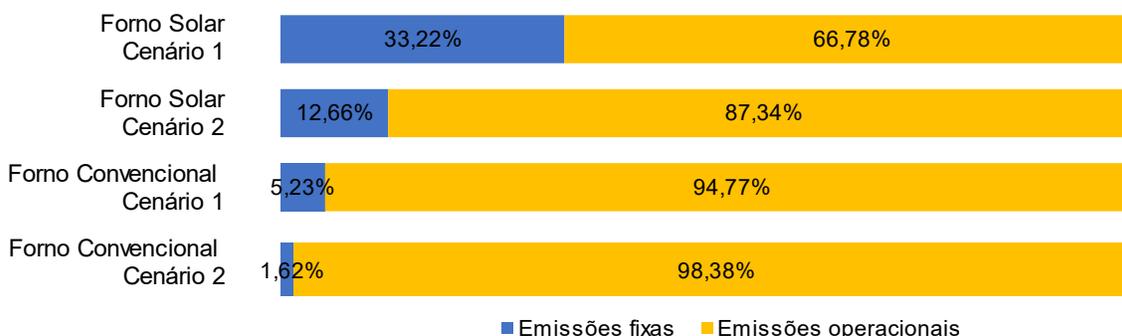
Fonte: Construído a partir dos resultados de SimaPro (2022).

A mangueira, a abraçadeira e a válvula têm 5 anos de vida útil; juntos, o impacto total ao longo dos 20 anos de funcionamento é de 3,21 kg CO<sub>2</sub>-eq, ou seja, 0,16 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano. Assim, as Emissões<sub>manutenção</sub> totalizam em 10,21 CO<sub>2</sub>-eq/ano.

As emissões operacionais relacionadas ao forno convencional são de 121,54 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano. Deste modo, as emissões totais associadas ao uso do forno convencional são 124,58 e 123,33 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano, para o caso do aterro sanitário e reciclagem, respectivamente.

As emissões operacionais são as que mais contribuem em ambos os fornos e cenários (Figura 23). No estudo de Landi *et al.* (2019) em que duas tecnologias de fornos domésticos (uma a gás natural e outra a energia elétrica) são analisadas, as emissões relacionadas ao uso são as mais expressivas.

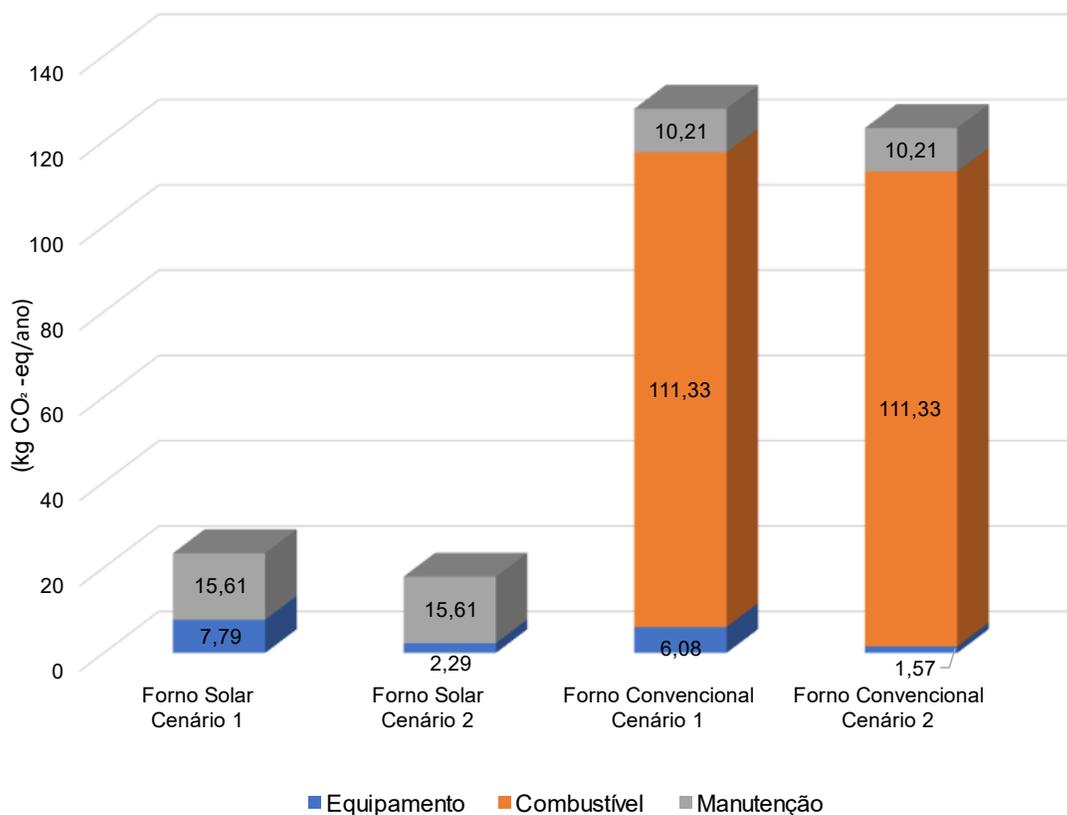
Figura 23: Visão geral da magnitude das emissões anuais dos fornos.



Fonte: Construído a partir dos resultados de SimaPro (2022).

As maiores contribuições das emissões dos GEE no forno convencional estão atreladas ao combustível, seguido das manutenções, ver Figura 24.

Figura 24: Emissões dos fornos por fases (equipamento, combustível e manutenções).



Fonte: Construído a partir dos resultados de SimaPro (2022).

No último relatório do IPCC, as emissões globais de GEE registraram 59 Gt CO<sub>2</sub>-eq em 2019 (aproximadamente 12% a mais do que em 2010 e 54% a mais que em 1990), sendo 10% referente à América Latina e ao Caribe. A energia utilizada para aquecimento e cozimento representa 4,40% (0,26 Gt CO<sub>2</sub>-eq) (RIAHN *et al.*, 2022).

Se 10% da população brasileira, considerando o ano de 2022 (207.750.291 pessoas (IBGE, 2022)), utilizar o forno solar uma vez por semana para preparar o bolo, o potencial de mitigação das emissões de GEE é de aproximadamente 0,000126 Gt de CO<sub>2</sub>-eq/ano. Em uma projeção em que 30% da população adere ao uso do dispositivo solar, a redução anual é de 0,000378Gt CO<sub>2</sub>-eq, já em um cenário em que 10% da população insere o equipamento no cotidiano com mais frequência o impacto passa a ser de 0,001836 Gt CO<sub>2</sub>-eq.

Mendoza *et al.* (2019) estimaram que se 10% da nação espanhola adotassem o forno solar, para cozinhar uma vez ao dia, 42.600 t de CO<sub>2</sub> eq/ano poderiam ser evitados, já Herez, Ramadan e Khaled (2018) verificaram que ao usar o dispositivo solar durante 50% do tempo de cozimento das refeições em um ano, é possível evitar 726,60 kg de CO<sub>2</sub>.

Como o relatório do IPCC (2022) não discriminou os impactos relacionado ao cozimento, é impossível correlacionar com as projeções feitas. Mas, os valores apresentados são relevantes tendo em vista que a meta do Acordo de Paris de manter o aquecimento global em 1,5°C requer que tecnologias caminhem no processo de descarbonização e auxiliem na transformação dos diferentes setores da sociedade para impedir que piores impactos climáticos aconteçam.

A combinação do forno solar com outra tecnologia já consolidada no mercado pode ser uma opção para contribuir com a redução de GEE. Mendoza *et al.* (2019) relatam que a combinação do forno solar com o micro-ondas representa uma alternativa promissora para a redução dos impactos ambientais e dos custos de aquecimento de alimentos.

## 4.2 AVALIAÇÃO FINANCEIRA

A partir da quantidade de GLP consumido em cada tipo de cozimento dado pela Equação (8) e exposto na Tabela 23 (totalizando 2.983,78 MJ/ano), obtém-se o custo para realizar três refeições diárias e um bolo ao longo do ano, a partir da Equação (12). O custo anual operacional para o forno operacional está mostrado na Tabela 25.

Tabela 25: Custos operacionais anuais associados ao consumo de GLP em forno convencional.

	<b>Custo do GLP</b>
Refeições diárias	R\$ 532,78/ano
Bolo semanal	R\$ 38,11/ano
<b>Total</b>	<b>R\$ 570,89/ano</b>

Fonte: Construído a partir dos resultados de SimaPro (2022).

A partir das quantidades dos materiais de limpeza, mostradas na Tabela 6 e Tabela 10, e das peças a serem trocadas, o custo das manutenções anuais dos diferentes fornos são expostos na Tabela 26.

Tabela 26: Custos anuais das manutenções nos fornos

<b>Material</b>	<b>Forno Solar</b>	<b>Forno Convencional</b>
Água	R\$ 0,34	R\$ 0,24
Detergente	R\$ 5,18	R\$ 2,59
Álcool	R\$ 24,35	R\$ 17,39
Pano	R\$ 38,94	R\$ 38,94
Troca de peças*	-	R\$ 9,60
<b>Total</b>	<b>R\$ 68,81</b>	<b>R\$ 68,76</b>

\* A troca de peças inclui substituição da mangueira, válvula de segurança e abraçadeiras.

Fonte: Elaborado pela autora.

Portanto, o custo total associado a utilização do forno solar durante a sua vida útil é de R\$ 2.232,20, sendo R\$ 856,00 aliado a construção do forno em si e R\$ 1.376,20 da manutenção (limpeza semanal). Assim, o custo é de R\$ 111,61 ao ano.

Já para o forno convencional o custo é de R\$ 13.995,00, que consiste em R\$ 1.058,00 referente à compra do equipamento e dos acessórios necessários para o seu funcionamento, R\$ 11.417,80 do consumo anual de GLP ao longo da vida útil (sem considerar a inflação ao longo dos anos), R\$ 1.375,20 das limpezas semanais e R\$ 144,00 dos acessórios necessários para as trocas a cada 5 anos. Dessa maneira, o custo anual é, portanto, de R\$ 699,75.

Ao investir num forno solar para realização das refeições diárias e cozimento semanal de um bolo, obteve-se um tempo de retorno de investimento de 1,85 anos (utilizando a Equação (13)). Isso quer dizer que em menos de dois anos a família referência recupera o valor inicialmente investido no forno solar.

O custo de um forno solar varia em relação ao tamanho, materiais utilizados e local produzido. Enquanto, no presente estudo o dispositivo solar do tipo caixa com capacidade para quatro painéis tem custo de R\$ 856,00, no Líbano é de R\$ 1.750,00 (US\$ 1 = R\$5,00 em 8 de maio de 2023) (HEREZ; RAMADAN; KHALED, 2018). Já as tecnologias para uma panela variaram entre R\$ 7,16 (€ 1 = R\$5,51 em 8 de maio de

2023) em Barcelona (feito de materiais novos e usados) (MENDOZA *et al.*, 2019) e R\$ 366,65 (US\$ 1 = R\$5,00 em 8 de maio de 2023) na Índia (feito de materiais novos) (CHAKMA *et al.*, 2021).

O impacto financeiro referente à operação é de R\$546,00 ao ano (US\$ 1 = R\$5,00 em 8 de maio de 2023) no estudo de Herez, Ramadan e Khaled (2018) em que compara com a quantidade de GLP consumido em uma residência libanesa. No estudo de Chakma *et al.* (2021) menciona a quantidade de cilindros GLP sem mencionar o preço vigente no país, já no trabalho de Mendoza *et al.* (2019) a comparação ocorreu pelo preço da energia elétrica economizada na Espanha ao se utilizar a tecnologia solar, 127,83 milhões de reais (€ 1 = R\$5,51 em 8 de maio de 2023).

O custo das manutenções do forno solar estudado foi de R\$ 68,81 ao ano, enquanto na pesquisa de Chakma *et al.* (2021) foi de R\$ 36,65/ano (US\$ 1 = R\$5,00 em 8 de maio de 2023). O valor no estudo de Chakma *et al.* (2021) é quase a metade da que foi computado nessa avaliação, pois a maior parcela das manutenções refere-se as operações de limpeza, que está diretamente ligada ao tamanho do equipamento.

O período de retorno do forno solar considerando 3 refeições diárias e 1 bolo semanal é de 1,85 anos, já o forno do estudo libanês é de 3,25 anos (HEREZ; RAMADAN; KHALED, 2018) e o do Himalaia é de 1,89 anos (CHAKMA *et al.*, 2021). Herez, Ramadan e Khaled (2018) mostram que quanto maior o percentual de uso do forno solar, menor o período de retorno.

Diante da realidade que, ainda em 2023, em alguns lugares, a responsabilidade de preparar a comida é totalmente da mulher (SCI, 2023a), o forno solar por utilizar o efeito estufa como princípio de ativação, não alcança temperaturas elevadas, o que permite que a comida seja preparada sem queimá-la, pois, a partir de um dado momento a dispositivo passa a funcionar apenas como estufa, mantendo a temperatura interna. Assim, o forno solar proporciona as mulheres liberdade para que elas realizem outras atividades (de autocuidado, estudos, trabalho fora de casa etc.) enquanto a comida está sendo preparada, promovendo a igualdade de gênero (objetivo cinco da ODS).

Além de usar energia limpa e inesgotável, o dispositivo solar contribui nas ações contra as mudanças climáticas (ANDRIANAIRO; RAMASIARINORO, 2014), na saúde e

bem-estar das pessoas (CHAKMA *et al.*, 2021), consumo e produção responsável (MENDOZA *et al.*, 2019).

Fogões solares caseiros, ou seja, aqueles que são confeccionados pelo próprio usuário além de contribuir com a economia circular e sustentabilidade pode ajudar as pessoas a lidarem com o estresse, estimular a criatividade e promover interações sociais positivas (MENDOZA *et al.*, 2019).

Segundo o inquérito Eurobarómetro (2020), 78% dos cidadãos europeus consideram que as mudanças climáticas têm um efeito direto sobre o seu cotidiano e a sua saúde, considerando como estratégia modificar a forma que é produzido, comercializado e consumido os produtos. Assim, o consumidor tem o poder de decisão e de mitigar emissões de GEE ao escolher um produto ou outro.

Os consumidores têm duas opções para contribuir com a redução das emissões de GEE: reduzir o consumo geral ou mudar o padrão de consumo para bens e serviços menos intensivos em emissões de GEE (BJELLE; STEEN-OLSEN; WOOD, 2018). Assim, a maneira de escolher a alimentação, a habitação e o transporte podem gerar um significativo potencial de mitigação de emissões tendo em vista que aproximadamente dois terços das emissões globais de GEE estão direta e indiretamente ligadas ao consumo doméstico (IVANOVA *et al.*, 2020).

No contexto da alimentação, as maiores economias das emissões vêm de mudanças na dieta e na redução no desperdício de alimentos (CLARK *et al.*, 2019). As alterações no cardápio alimentar podem estar ligadas a redução na quantidade de produtos de origem animal (GODFRAY *et al.*, 2018) ou até mesmo na escolha do tipo de bolo (CARVALHO *et al.*, 2020).

O dispositivo utilizado para cozinhar os alimentos, como já mostrado, influencia a quantidade de GEE emitidos. Carvalho, Grilo e Abrahão (2017) mostram que utilizar a fritadeira elétrica a ar quente (*Air Fryer*) para fritar chips de batata tem menor impacto quando comparado ao uso do forno convencional.

Na indústria o potencial de mitigação pode ser ainda maior. Segundo Brito, Andrade e Carvalho (2022) ao substituir parcialmente o gás natural por biomassa, no forno de uma indústria de cerâmica que sinteriza o porcelanato, aproximadamente 25% (271.500 kg CO<sub>2</sub>-eq/mês) das emissões são reduzidas. Já na produção de pão francês em uma

padaria no nordeste brasileiro ao se utilizar briquetes de bagaço de cana-de-açúcar em vez do gás natural a redução das emissões é 3.000 kg CO<sub>2</sub>-eq/ano (23%) (MELQUÍADES; COELHO JUNIOR; CARVALHO, 2020)

No setor residencial brasileiro, o potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa ao usar o forno solar é de aproximadamente 32.500 t de CO<sub>2</sub> eq/ano, enquanto na Espanha é de 42.600 t de CO<sub>2</sub> eq/ano (MENDOZA *et al.*,2019). Como mencionado por Herez, Ramadan e Khaled (2018) quanto maior o percentual de uso do dispositivo solar, maior será o potencial de mitigação e menor o período de retorno financeiro.

Além de reduzir custos e impactos ambientais, o forno solar tem uma vantagem social muito grande, permitindo que pessoas em locais distantes, sem acesso a botijão de gás, ou que simplesmente não tem condições financeiras de usar GLP, possam cozinhar suas refeições diárias. Assim, é esperado que o uso do forno solar cresça por se tratar de uma tecnologia que contribui em várias vertentes do desenvolvimento sustentável.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem é uma estratégia a ser considerada no momento de descarte dos equipamentos afim de contribuir com os ODS. Na presente pesquisa, de ambas as tecnologias estudadas há redução de impactos ambientais.

Ao tomar como referência uma família que cozinha três refeições diárias e um bolo semanal, os resultados demonstraram que o maior impacto das emissões anuais independente do equipamento está vinculado ao operacional. Na avaliação do forno solar, quando considerado a reciclagem de seus componentes ao final da vida útil, apenas 1,62% dos impactos são referentes ao equipamento, o restante refere-se a manutenções.

O impacto ambiental computado para cada tecnologia revela que o forno solar é aproximadamente 80% menor que o forno convencional. O forno solar gera 468,00 kg CO<sub>2</sub>-eq e o forno convencional 2.552,40 CO<sub>2</sub>-eq ao longo da sua vida útil quando o descarte do dispositivo é o aterro sanitário. Portanto, ao cozinhar utilizando o forno solar, mais de 2.000 kg CO<sub>2</sub>-eq são evitadas.

Por outro lado, ao analisar comparativamente os dois fornos e considerar a reciclagem após o final a vida útil dos equipamentos, o impacto anual é de 17,90 CO<sub>2</sub>-eq para o forno solar e 123,11 CO<sub>2</sub>-eq para o forno convencional. Logo, o impacto ambiental do uso do forno solar é de 85,46% menor. Com isso, os benefícios ambientais do uso do forno solar para a mitigação de danos ao ambiente são visíveis.

Os resultados obtidos corroboram com outros estudos feitos sobre avaliação ambiental de fornos solares até o momento. Entretanto, destacam-se nessa pesquisa outros aspectos não discutidos na literatura científica, como o impacto da reciclagem no fim da vida útil do forno solar, enfatizando a importância das estratégias para a destinação correta de resíduos.

Os resultados aqui apresentados revelam que é possível obter uma redução de aproximadamente 70% nas emissões fixas quando há possibilidade de reciclagem de materiais no forno solar e no forno convencional.

O impacto das emissões operacionais são os mais relevantes que das emissões fixas, tendo em vista os impactos relacionados ao uso do GLP. Resultados como esses

indicam que o uso do forno solar representa uma contribuição significativa nas reduções de emissões de GEE quando comparada à destinação convencional (aterro sanitário).

Noutra direção, ao analisar os impactos financeiros dos fornos, os custos anuais associados foram de R\$ 111,61 para o forno solar e R\$ 699,75 para o forno convencional. Além disso, o tempo de retorno do investimento no forno solar foi de 1 ano e 10 meses, ou seja, em menos de dois anos, o custo com o combustível usado no forno convencional supera o valor do forno solar.

Houve benefícios do uso do forno solar sob o ponto de vista financeiro e ambiental. Os resultados demonstraram que o impacto ambiental é reduzido ao se utilizar o forno solar. Esse fator pode possibilitar a autonomia energética para famílias em situação de vulnerabilidade social, que muitas vezes utilizam lenha e carvão para cozinhar, trazendo outros riscos. Portanto, é inegável que a tecnologia estudada pode ser adicionada à rotina de famílias, parcial e/ou integralmente, colaborando com a autonomia energética de uma coletividade, além de reduzir custos e cooperar com a redução dos GEE.

Diante disso, sugere-se a utilização do forno solar do tipo caixa, um dispositivo que pode assar alimentos sem utilizar os combustíveis fósseis. Em contrapartida, contribui com o desenvolvimento sustentável e com a autonomia energética do um país.

É evidente que as pesquisas sobre forno solar no Brasil são ainda incipientes, e, conseqüentemente, esse estudo não esgota todas as possibilidades de investigação. Mas, com os dados atuais, já se sabe que o potencial de mitigação ao se utilizar o forno solar com uma pequena parcela da população brasileira (10% da população de 2022) pode significar 126.000 t de CO<sub>2</sub>-eq/ano evitados, proporcionando autonomia energética para aqueles que não podem cozinhar (por quaisquer motivos) ou para os que desejam contribuir com as ações contra a evolução do efeito estufa.

Apesar do impacto ainda ser pequeno, reduzir o consumo de combustíveis fósseis nos diferentes setores da sociedade é alinhar e contribuir efetivamente com a corrida de limitar o aquecimento do planeta, conforme está previsto no objetivo 13 da ODS que estimula o desenvolvimento de ações contra a mudança global do clima.

Por fim, é pertinente sugerir para trabalhos futuros a exploração da temática, especialmente em programas de pós-graduação na área das engenharias, tendo em vista que o cozimento de alimentos, no contexto atual, é marcado pelo aumento nos

preços do GLP, como tecnologia mais utilizada, e, ao mesmo tempo, vem sendo substituída por outras fontes que, comprometem a saúde humana, além dos prejuízos ambientais. Logo, não são apenas os impactos ambientais que advogam a favor do forno solar, mas, há outros condicionantes que merecem mais atenção dos pesquisadores na área.

Trabalhos futuros podem considerar um protótipo de forno solar do tipo caixa utilizando chapa de ferro fundido, substituindo o aço que tem elevado impacto ambiental. Outra, sugestão para minimizar ao máximo os impactos do forno solar é simular modelos de forno solar do tipo caixa feito em impressora 3D com diferentes filamentos e preenchimentos, buscando a redução de peso do equipamento e mantendo a sua funcionalidade.

A construção de um forno solar com armazenamento de energia térmica, utilizando materiais com baixo impacto ambiental também é uma linha pesquisa a ser considerada em futuros estudos.

Dessa maneira, os estudos de fornos solares se convertem em estratégias viáveis e sustentáveis para boa parte da população, seja motivada pelas dificuldades no consumo do GLP que se encarece vertiginosamente, seja por escolha consciente e responsável sob o ponto de vista energético.

## REFERÊNCIAS

- ACERO, A.; RODRÍGUEZ, C.; CIROTH, A.; **LCIA methods**: Impact Assessment Methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. Berlim, Alemanha, 2016. Disponível em: [https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/openLCA\\_LCIA\\_METHODS-v.1.5.6.pdf](https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/openLCA_LCIA_METHODS-v.1.5.6.pdf). Acesso em: 05 ago. 2021.
- AL-NEHARI, H. A.; MOHAMMED, M. A.; ODHAI, A. A.; AL-ATTAB, K. A.; MOHAMMED, B. K.; AL-HABARI, A. M.; AL-FAHD, N. H. Experimental and numerical analysis of tilttable box-type solar cooker with tracking mechanism. **Renewable Energy**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.08.125>. Acesso em: 8 jan. 2022.
- ALVES, J. E. D. Crescimento demoeconômico no Antropoceno e negacionismo demográfico. **Liinc em Revista**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.18617/liinc.v18i1.5942>. Acesso em: 6 jul. 2023.
- ANDRIANAIVO, L.; RAMASIARINORO, V. J. Life cycle assessment and environmental impact evaluation of the parabolic solar cooker SK14 in Madagascar. **Journal of Clean Energy Technologies**. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.7763/JOCET.2014.V2.121>. Acesso em: 16 ago. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, 2014a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR ISO 14044**: Gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida, requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2014b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR ISO 8313**: Mangueira de PVC plastificado para instalações domésticas de gás liquefeito de petróleo (GLP). Rio de Janeiro, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR ISO 8473**: Regulador de baixa pressão para gás liquefeito de petróleo (GLP) com capacidade até 4 kg/h. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR ISO 15198**: Espelhos de prata -beneficiamento e instalação. Rio de Janeiro, 2005b.
- Associação Brasileira das Indústrias de Vidro – ABIVIDRO. **Porque o vidro é a melhor opção para reciclar!** 2023. Disponível em: [https://abividro.org.br/wp-content/uploads/2021/08/E-book\\_Porque-o-vidro-e-a-melhor-opcao-para-reciclar-1.pdf](https://abividro.org.br/wp-content/uploads/2021/08/E-book_Porque-o-vidro-e-a-melhor-opcao-para-reciclar-1.pdf). Acesso em: 25 jan. 2023.
- AQUILANTI, A.; TOMASSETTI, S.; MUCCIOLI, M.; DI NICOLA, G. Design and experimental characterization of a solar cooker with a prismatic cooking chamber and adjustable panel reflectors. **Renewable Energy**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.11.083>. Acesso em: 22 fev. 2023.
- ATMANE, I.; EL MOUSSAOUI, N.; KASSMI, K.; DEBLECKER, O.; BACHIRI N. Alternating multi-stage maximum power point tracking controlled parallelled photovoltaic systems for “solar cooker”. **International Journal of Circuit Theory and Applications**. Morrocos, 2021. Disponível em: <https://doi.org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1002/cta.3051>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- BARUA, R.; BARDHAN, N.; BANERJEE, D. Impact of the Polar Ice Caps Melting on Ecosystems and Climates. **Handbook of Research on Water Sciences and Society** (pp. 722-735). 2022. Disponível em: <https://www.igi-global.com/chapter/impact-of-the-polar-ice-caps-melting-on-ecosystems-and-climates/299909?camid=4v1>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BJELLE, E.L.; STEEN-OLSEN, K.; WOOD, R. Climate change mitigation potential of Norwegian households and the rebound effect. **Journal of Cleaner Production**, 172, pp.208-217. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.089>. Acesso em: 21 set. 2022.

BRANDÃO, M.; MARTIN, M.; COWIE, A.; HAMELIN, L.; ZAMAGNI, A.. Consequential life cycle assessment: what, how, and why?. In: Encyclopedia of Sustainable Technologies, **Elsevier**, p. 277-284, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10068-5>. Acesso em: 13 set. 2022.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Preços de GLP ao consumidor consolidados**. 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-ao-consumidor-consolidados-glp>. Acesso em: 16 set. 2021.

BRASIL. EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2022: Ano base 2021**. Rio de Janeiro, 2022b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 15 out. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **IPCC ALERTA PARA NECESSIDADE DE AÇÕES PARA MITIGAÇÃO DE RISCOS CLIMÁTICOS**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inmet/noticias/ipcc-alerta-para-necessidade-de-acoes-para-mitigacao-de-riscos-climaticos>. Acesso em: 03 maio 2022.

BRASIL. Secretaria de Governo da Presidência da República. **ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Histórico ODM**. 2019. Disponível em: [http://www4.planalto.gov.br/ods/assuntos/copy\\_of\\_historico-odm](http://www4.planalto.gov.br/ods/assuntos/copy_of_historico-odm). Acesso em 10 maio 2022.

BRITO, A. M. V. G.; ANDRADE, E. A.; CARVALHO, M. Pegada de carbono da sinterização do porcelanato e potencial de mitigação de mudanças climáticas associado à substituição energética. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, 2022. ISSN 2447-9187. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6547>. Acesso em: 24 maio. 2023.

CAMPOS-GUZMÁN, V.; GARCÍA-CÁSCALES, M. S.; ESPINOSA, N.; URBINA, A. Life Cycle Analysis with Multi-Criteria Decision Making: A review of approaches for the sustainability evaluation of renewable energy technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.031>. Acesso em: 05 ago. 2022.

CARVALHO, M. GRILO, M. M. S.; ABRAHÃO, R. Comparison of greenhouse gas emissions relative to two frying processes for homemade potato chips. **Environmental Progress & Sustainable Energy**. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ep.12661>. Acesso em: 14 set. 2022.

CARVALHO, M., SILVA, A. L. T.; PAULA DINIZ, D.; BRITO, A. M. V. G.; Santana Freire, R. Pegada de carbono associada à produção de bolos. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n3p1185-1200>. Acesso em: 18 mar. 2023.

CHAKMA, B.; SERTO, L.; KHARPUDE, S.; NARALE, P.; SEVEDA, M. S. Life cycle assessment analysis, embodied energy evaluation and economic aspect study of double mirror reflector box type solar cooker for NEH region of Sikkim. **International Journal of Green Energy**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15435075.2021.1978446>. Acesso em: 15 fev. 2022.

CHANGNON, S. A.; CENTER, M. C. What can the atmospheric sciences do to aid in drought management? Climate change and water resource issues. **Drought and Climate Change**, p. 65. 1989. Disponível em: <https://www.isws.illinois.edu/pubdoc/MP/ISWSMP-113.pdf#page=67>. Acesso em: 13 set. 2021.

CHATELAIN, T.; MAUREE, D.; TAYLOR, S.; BOUVARD, O.; FLEURY, J.; BURNIER, L.; SCHÜLER, A. Solar cooking potential in Switzerland: Nodal modelling and optimization. **Solar Energy**, 194, 788-803. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X19310680>. Acesso em: 12 abr. 2022.

CHEHEB, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**: Ferramenta Gerencial da ISO 14000, Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

CLARK, M. A.; SPRINGMANN, M.; HILL, J.; TILMAN, D. Multiple health and environmental impacts of foods. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 2019. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1906908116>. Acesso em: 12 abr. 2022.

Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA. **Estrutura Tarifária**: residencial - referência maio 2023. 2023. Disponível em: <http://agenciavirtual.cagepa.pb.gov.br/gsan/exibirConsultarEstruturaTarifariaPortalCagepaAction.do>. Acesso em: 01 jun. 2023.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Conferência das nações unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento** - Agenda 21. Seção I. Dimensões Sociais e Econômicas. Capítulo 2: Cooperação Internacional para Acelerar o Desenvolvimento Sustentável dos Países em Desenvolvimento e Políticas Internas Correlatas. Rio de Janeiro, 1992.

COPAGAZ. **Rota de distribuição do GLP**. Porto do Suape, 2023. Disponível em: <https://www.copagaz.com.br/>. Acesso em: 10 maio 2023.

ESMALTEC. **Esmaltec Eletrodomésticos**. Brasil, 2023. Disponível em: <https://esmaltec.com.br/>. Acesso em: 16 fev. 2023.

EUROCID. **Eurobarómetro - Cidadania e Democracia na UE (2020)**. 2020. Disponível em: <https://eurocid.mne.gov.pt/cidadania-europeia/eurobarometro-cidadania-e-democracia-na-UE-2020>. Acesso em: 03 mar. 2023.

FAVI, C.; GERMANI, M.; LANDI, D.; MENGARELLI, M.; ROSSI, M. Comparative life cycle assessment of cooking appliances in Italian kitchens. **Journal of Cleaner Production**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.140>. Acesso em: 22 jun. 2023.

FERREIRA COSTA. **Home Center Ferreira Costa**, 2023. Disponível em: <https://www.ferreiracosta.com/>. Acesso em: 11 maio 2023.

FORSTER, P.; STORELVMO, T.; ARMOUR, K.; COLLINS, W.; DUFRESNE, J.-L.; FRAME, D.; LUNT, D.J.; MAURITSEN, T.; PALMER, M. D.; WATANABE, M.; WILD, M.; ZHANG, H. The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA, pp. 923–1054. 2022. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter07.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter07.pdf). Acesso em: 19 abr. 2022.

FRANCO, J. L. D. A.; DRUMMOND, J. A. **Proteção à Natureza e Identidade Nacional no Brasil, anos 1920-1940**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2009.

GIODA, A.; TONIETTO, G. B.; LEON, A. Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população. **Ciência & Saúde Coletiva**, 2019. ISSN 1678-4561. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-81232018248.23492017>. Acesso em 18 maio 2022.

GODFRAY, H. C. J.; AVEYARD, P.; GARNETT, T.; HALL, J. W.; KEY, T. J.; LORIMER, J.; PIERREHUMBERT, R. T.; SCARBOROUGH, P.; SPRINGMANN, M.; JEBB, S. A. Meat consumption, health, and the environment. **Science**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>. Acesso em: 29 abr. 2022.

GOEDKOOPE M.; HEIJUNGS R.; DE SCHRYVER A.; STRUIJS J.; VAN ZELM R. **ReCiPe 2008**: A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level / Report I: Characterization. Holanda: Ministerie van VROM, Den Haag, 2009. Disponível em: [https://dvikan.no/ntnu-studentserver/reports/selected%20sections%20-%20Goedkoop%20etal%20ReCiPe\\_main\\_report\\_final\\_27-02-2009\\_web.pdf](https://dvikan.no/ntnu-studentserver/reports/selected%20sections%20-%20Goedkoop%20etal%20ReCiPe_main_report_final_27-02-2009_web.pdf). Acesso em: 18 out. 2021.

GOEDKOOPE, M.; EFFING, S.; COLLIGNON, M., **Eco-indicator 99**: Manual for Designers – A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. 2. Ed. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2000. Disponível em: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1573387449779416064>. Acesso em: 8 nov. 2021.

GOLSTEIJN, L.; **Life Cycle Assessment (LCA) explained**. 2020. Disponível em: <https://pre-sustainability.com/articles/life-cycle-assessment-lca-basics/>. Acesso em: 19 nov. 2021.

GUIMARÃES, L. F.; TEIXEIRA, F. C.; PEREIRA, J. N.; BECKER, B. R.; OLIVEIRA, A. K. B.; LIMA, A. F.; VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G. The challenges of urban river restoration and the proposition of a framework towards river restoration goals. **Journal of Cleaner Production**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128330>. Acesso em: 13 set. 2022.

HOUAISS, A. VILLAR, M. de S. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

HEREZ, A.; RAMADAN, M.; KHALED, M. Review on solar cooker systems: Economic and environmental study for different Lebanese scenarios. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 81, Part 1, 2018, Pages 421-432, ISSN 1364-0321. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.021>. Acesso em: 11 maio 2022.

HISCHIER, R.; WEIDEMA, B.; ALTHAUS, H.-J.; BAUER, C.; DOKA, G.; DONES, R.; FRISCHKNECHT, R.; HELLWEG, S.; HUMBERT, S.; JUNGBLUTH, N.; KÖLLNER, T.; LOERINCIK, Y.; MARGNI, M.; NEMECEK, T. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Ecoinvent report No. 3, v2.2. **Swiss Centre for Life Cycle Inventories**, Dübendorf. 2010. Disponível em: [https://ecoinvent.org/wp-content/uploads/2020/08/201007\\_hischier\\_weidema\\_implementation\\_of\\_lcia\\_methods.pdf](https://ecoinvent.org/wp-content/uploads/2020/08/201007_hischier_weidema_implementation_of_lcia_methods.pdf). Acesso em: 20 set. 2021.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro, Ed. Objetiva, 2001.

HUIJBREGTS, M. A. J.; BREEDVELD, L.; HUPPES, G.; DE KONING, A.; VAN OERS, L.; SUH, S. Normalisation figures for environmental lifecycle assessment: The Netherlands (1997/1998), Western Europe (1995) and the World (1990 and 1995). **Journal of Cleaner Production** 11. 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00132-4](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00132-4). Acesso em: 14 nov. 2022.

HUIJBREGTS, M. A. J., STEINMANN, Z. J. N., ELSHOUT, P. M. F., STAM, G., VERONES, F., VIEIRA, M. D. M., VAN ZELM, R. ReCiPe2016 v1.1: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. **National Institute for Public Health and the Environment**. Department of Environmental Science, Radboud University Nijmegen, 2017. Disponível em: [http://www.rivm.nl/en/Topics/L/Life\\_Cycle\\_Assessment\\_LCA/Downloads/Documents\\_ReCiPe2017/Report\\_ReCiPe\\_Update\\_2017](http://www.rivm.nl/en/Topics/L/Life_Cycle_Assessment_LCA/Downloads/Documents_ReCiPe2017/Report_ReCiPe_Update_2017). Acesso em: 18 dez. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA - INMETRO. **Fogões e fornos domésticos a gás**. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa->

brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/fogoes-e-fornos-domesticos-a-gas/todos-os-modelos-etiquetados-2012/@\_@download/file. Acesso em: 15 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Preços e custos**, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos.html>. Acesso em: 04 nov. 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 14040**: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Geneva, 2006a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 14044**: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, Geneva, 2006b.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2014**: mitigation of climate change, 2015. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf). Acesso em: 22 nov. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto protocol**, 2013. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsgf/>. Acesso em: 16 fev. 2022.

IVANOVA, D.; BARRETT, J.; WIEDENHOFER, D.; MACURA, B.; CALLAGHAN, M.; CREUTZIG, F. Quantifying the potential for climate change mitigation of consumption options. **Environmental Research Letters**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8589>. Acesso em: 15 nov. 2021.

JASSIM, M. M.; ABOOD, M. H.; RASHID, F.L. Design and Construction Solar Oven Sterilizer. **International Journal of Heat and Technology**, vol. 40, n 2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.18280/ijht.400235>. Acesso em: 03 abr. 2023.

JOLLIET, O.; MARGNI, M.; CHARLES, R.; HUMBERT, S.; PAYET, J.; REBITZER, G.; ROSENBAUM, R. IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. **The international journal of life cycle assessment**, 2003. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02978505#citeas>. Acesso em: 14 set. 2021.

KERR, R. B.; HASEGAWA, T.; LASCO, R.; BHATT, I.; DERYNG, D.; FARRELL, A.; GURNEY-SMITH, H.; JU, H.; LLUCH-COTA, S.; MEZA, F.; NELSON, G.; NEUFELDT, H.; THORNTON, P. **Food, Fibre, and Other Ecosystem Products**. in IPCC 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_Chapter05.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter05.pdf). Acesso em: 09 jun. 2022.

KHATRI, R.; GOYAL R.; SHARMA, R. K. Advances in the developments of solar cooker for sustainable development: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 145, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111166.t>. Acesso em: 18 jan. 2022.

LANDI, D.; CONSOLINI, A.; GERMANI, M.; FAVI, C. Comparative life cycle assessment of electric and gas ovens in the Italian context: An environmental and technical evaluation. **Journal of Cleaner Production**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.196>. Acesso em: 13 jun. 2023.

LI, F.; CHU, M.; TANG, J.; LIU, Z.; WANG, J.; LI, S. Life-cycle assessment of the coal gasification-shaft furnace-electric furnace steel production process. **Journal of Cleaner Production**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125075>. Acesso em: 18 jun. 2022.

LUQUINI, R. H.; SANTOS, C. M.; BARBOSA, N. A.; ARAÚJO, R. S.; MOTA, R. O.; SILVEROL; A. C. **Economia Mineral e Engenharia Econômica**. Porto Alegre: SAGAH, 2021.

MAGAZINE LUÍZA. **MAGALU**. 2023. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/>. Acesso em: 18 maio 2023.

MANUEL, M. T.; VITORINO, A. V. RELAÇÕES ENTRE PADRÕES DE CONSUMO DOMÉSTICO DE ENERGIA E NÍVEIS DE RENDA FAMILIAR: ESTUDO DE CASO NO 14º BAIRRO NHACONJO, CIDADE DA BEIRA. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, 2022. Disponível em: <http://doi.org/10.3895/recit.v12i30.12952>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MARQUES, A. S.; CARVALHO, M.; OCHOA, A. A. V.; ABRAHÃO, R.; Life cycle assessment and comparative exergoenvironmental evaluation of a micro-trigeneration system. **Energy**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119310>. Acesso em: 13 jun 2022.

MELQUÍADES, T. F.; JUNIOR, L. M. C.; CARVALHO, M. Pegada de carbono da produção de pão francês em padaria no nordeste brasileiro. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n4p1471-1492>. Acesso em: 21 fev. 2023.

MENDOZA, J. M. F.; GALLEGO-SCHMID, A.; RIVERA, X. C. S.; RIERADEVALL, J.; AZAPAGIC, A. Sustainability assessment of home-made solar cookers for use in developed countries. **Science of The Total Environment**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.125>. Acesso em: 30 mar. 2022.

MISRA, N.; ANAND, A.; PANDEY, S.; KANT, K.; SHUKLA, A.; SHARMA, A. Box-Type Solar Cookers: An Overview of Technological Advancement, Energy, Environmental, and Economic Benefits. **Energies**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16041697>. Acesso em: 18 abr. 2023.

NETO, T. O.; NOGUEIRA, R. J. B. A GEOGRAFIA DO GÁS EM MANAUS-AM. **Revista GeoAmazônia**, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/geoamazonia/article/view/13666/9517>. Acesso em: 16 jun. 2023.

OBERLE, B.; BRINGEZU, S.; HATFIELD-DODDS, S.; HELLWEG, S.; SCHANDL, H.; CLEMENT, J. **Global Resources Outlook: 2019**. Paris, France: International Resource Panel, United Nations Envio. 2019. Disponível em: <https://www.resourcepanel.org/file/1172/download?token=muaePxOQ>. Acesso em: 26 out. 2022.

OLAGUNJU, B. D.; OLANREWAJU, O. A. Comparison of Life Cycle Assessment Tools in Cement Production. **South African Journal of Industrial Engineering**. Vol 31(4), pp 70-83. 2020. Disponível em: [http://www.scielo.org.za/scielo.php?pid=S2224-78902020000400008&script=sci\\_abstract&lng=af](http://www.scielo.org.za/scielo.php?pid=S2224-78902020000400008&script=sci_abstract&lng=af). Acesso em: 06 abr. 2022.

OLIVEIRA, S. B.; MAHLER, C.F. **Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos - Uma Introdução**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2018. p. 192.

OTTE, P. P. Solar cookers in developing countries—What is their key to success?. **Energy Policy**, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.075>. Acesso em: 16 dez. 2021.

PANOPOULOS, K.; KARDARAS, G.; KRAIA, T.; BAMPAOU, M. Environmental assessment of biomass thermochemical conversion routes through a life cycle perspective. **Environmental Assessment of Renewable Energy Conversion Technologies**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817111-0.00007-3>. Acesso em; 16 de janeiro de 2023.

PANWAR, N. L.; KOTHARI, S.; KAUSHIK, S. C. Techno-economic evaluation of masonry type animal feed solar cooker in rural areas of an Indian state Rajasthan. **Energy policy**, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.020>. Acesso em 15 mar. 2023.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: [http://labren.ccst.inpe.br/atlas\\_2017.html](http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html). Acesso em: 10 ago. 2022.

PEREIRA NETO, R. V.; SOUZA, L. G. M., LIMA, J. C.; SOUZA, L. G. V. M.; MENDES, E. V. Theoretical-experimental study of a box-type solar oven made from disused recyclable elements. **Solar Energy**, 230, pp.732-746. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.10.024>. Acesso em: 09 fev. 2022.

PESQUEIRA, J.; PEREIRA, M.; SILVA, A.; A life cycle assessment of solar-based treatments (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> photocatalysis, circumneutral photo-Fenton) for the removal of organic micropollutants. **The Science of the Total Environment**, 761, 143258, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143258>. Acesso em: 01 jun. 2022.

PHILIPPI, S.T. **Nutrição e Técnica Dietética**. 3. ed. Barueri, SP: Manole, 2014.

PRÉ-CONSULTANTS. **The Eco-indicator 99**. A damage oriented method for life Cycle Impact Assessment – Manual for Designer. 2000. Disponível em: [https://pre-sustainability.com/files/2013/10/EI99\\_Manual.pdf](https://pre-sustainability.com/files/2013/10/EI99_Manual.pdf). Acesso em: 10 dez. 2021.

PROCURADORIA DE PROTEÇÃO E DEFESA DO CONSUMIDOR - PROCON. **Procon-JP encontra preço do gás de cozinha oscilando entre R\$ 89,99 e R\$ 120,00 para pagamento à vista**, 2023. Disponível em: <https://www.joaopessoa.pb.gov.br/noticias/procon-jp-encontra-preco-do-gas-de-cozinha-oscilando-entre-r-8999-e-r-12000-para-pagamento-a-vista/>. Acesso em: 01 abr. 2023.

RIahi, K.; SCHAEFFER, R.; ARANGO, J.; CALVIN, K.; GUIVARCH, C.; HASEGAWA, T.; JIANG, K.; KRIEGLER, E.; MATTHEWS, R.; PETERS, G. P.; RAO, A.; ROBERTSON, S.; SEBBIT, A.M.; STEINBERGER, J.; TAVONI, M.; VAN VUUREN, D. P. **MITIGATION PATHWAYS COMPATIBLE WITH LONG-TERM GOALS**. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Disponível em: <https://doi.org/10.1017/9781009157926.005>. Acesso em: 23 ago. 2022.

SAXENA, A.; CUCE, E.; TIWARI, G. N.; KUMAR, A. Design and thermal performance investigation of a box cooker with flexible solar collector tubes: An experimental research. **Energy**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118144>. Acesso em: 30 maio 2022.

SAXENA, A; JOSHI S. K.; GUPTA, P.; TIRTH, V.; SURYAVANSHI, A.; SINGH, D. B.; SETHI, M. An experimental comparative analysis of the appropriateness of different sensible heat storage materials for solar cooking. **Journal of Energy Storage**. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106761>. Acesso em: 07 maio 2023.

SILVA, W. K. M.; NEVES, T. I; SILVA, C. S.; CARVALHO, M.; ABRAHÃO, R.; Sustainable enhancement of sugarcane fertilization for energy purposes in hot climates. **Renewable Energy**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.178>. Acesso em: 16 jan. 2022.

SILVA, W. K. M.; SILVA, C. S.; CARVALHO, M.; ABRAHÃO, R.; Pegada de carbono da fertilização no cultivo da cana-de-açúcar utilizando bio sólido e fertilizante comercial. **VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida**. Brasília, 2018. Disponível em: [https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2018/08/GCV2018\\_Anais\\_completo.pdf](https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2018/08/GCV2018_Anais_completo.pdf). Acesso em: 13 dez. 2021.

SIMAPRO. Version 9.3.0.2 **Software de ACV**. 2022. Disponível em: <https://simapro.com/try/>. Acesso em: 22 abr. 2023.

SOARES, C. P. **Avaliação da Eficiência Energética de Prédios Públicos**: Estudo de Caso da Edificação do Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR/UFPB). Monografia em Engenharia. Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

SOLAR COOKERS INTERNATIONAL - SCI. **Madagascar**, 2019a. Disponível em: <https://solarcooking.fandom.com/wiki/Madagascar>. Acesso em: 18 maio 2022.

SOLAR COOKERS INTERNATIONAL - SCI. **Somalia: news**, 2019b. Disponível em: <https://solarcooking.fandom.com/wiki/Somalia#News>. Acesso em: 18 maio 2022.

SOLAR COOKERS INTERNATIONAL - SCI. **China**, 2021. Disponível em: <https://solarcooking.fandom.com/wiki/China#History>. Acesso em: 18 maio 2022.

SOLAR COOKERS INTERNATIONAL - SCI. **Brazil: climate and culture**, 2022. Disponível em: [https://solarcooking.fandom.com/wiki/Brazil#Climate\\_and\\_culture](https://solarcooking.fandom.com/wiki/Brazil#Climate_and_culture). Acesso em: 28 fev. 2023.

SOLAR COOKERS INTERNATIONAL – SCI. **Kenya: significant project**, 2023a. Disponível em: [https://solarcooking.fandom.com/wiki/Kenya#Significant\\_project](https://solarcooking.fandom.com/wiki/Kenya#Significant_project). Acesso em: 15 jun. 2023.

SOLAR COOKERS INTERNATIONAL - SCI. **Nepal: history**, 2023b. Disponível em: <https://solarcooking.fandom.com/wiki/Nepal#History>. Acesso em: 15 maio 2023.

UKEY, A.; KATEKAR, V. P. An Experimental Investigation of Thermal Performance of an Octagonal Box Type Solar Cooker. **Smart Technologies for Energy, Environment and Sustainable Development**. 2019. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6148-7\\_73](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6148-7_73). Acesso em: 13 dez. 2022.

ONU: UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2015. Disponível em: [https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E). Acesso em: 13 maio 2022.

ONU: UNITED NATIONS FOUNDATION. **Estocolmo+50 termina com chamado por transformação ambiental e econômica urgente**, 2022. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/estocolmo50-termina-com-chamado-por-transformacao> . Acesso em: 15 de mar. 2023.

VENGADESAN, E.; SENTHIL, R. Experimental investigation of the thermal performance of a box type solar cooker using a finned cooking vessel. **Renewable Energy**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.130>. Acesso em: 09 fev. 2023.

VISHWAKARMA, A.; SINHA, S. Box type solar cooker with thermal storage: an overview. **Energy Systems**. 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12667-022-00512-9>. Acesso em: 15 fev.2023.

WELDU, A.; ZHAO, L.; DENG, S.; MULUGETA, N.; ZHANG, Y.; NIE, X.; XU, W. Performance evaluation on solar box cooker with reflector tracking at optimal angle under Bahir Dar climate. **Solar Energy**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.071>. Acesso em: 07 ago. 2022.