

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Aline Pfeiffer

**Comparação do perfil ambiental de diferentes telhados residenciais por meio
da Avaliação do Ciclo de Vida**

Florianópolis
2022

Aline Pfeiffer

**Comparação do perfil ambiental de diferentes telhados residenciais por meio
da Avaliação do Ciclo de Vida**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.
Orientador: Me. Roni Matheus Severis.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pfeiffer, Aline

Comparação do perfil ambiental de diferentes telhados residenciais por meio da Avaliação do Ciclo de Vida / Aline Pfeiffer ; orientador, Roni Matheus Severis, 2022.

79 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. telhados. 3. telhados sustentável. 4. Avaliação do Ciclo de Vida. 5. construção sustentável. I. Severis, Roni Matheus. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Aline Pfeiffer

**Comparação do perfil ambiental de diferentes telhados residenciais por meio
da Avaliação do Ciclo de Vida**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 25 de julho de 2022.

Prof.^a Maria Elisa Magri, Dr.^a
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Roni Matheus Severis, Me
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Thales Eduardo Tavares Dantas, Me.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Lucas Niehuns Antunes, Me.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Dedico esse trabalho a todas as pessoas que, de diversas formas, ajudaram-me a fazê-lo ser possível.

AGRADECIMENTOS

Estes agradecimentos foram pensados em cada etapa da elaboração deste trabalho e de toda a graduação, sendo uma forma de mostrar a gratidão e carinho que tenho por todas as pessoas ao meu redor.

Assim, começo agradecendo àquele que, nos momentos mais difíceis, nunca me abandonou, esteve comigo me revestindo de forças e tornando meu caminho perfeito. Obrigada Deus!

Agradeço ao meu amado marido Vinícius, que tanto me apoiou, abdicou de momentos preciosos e assumiu responsabilidades para que esse trabalho pudesse ser finalizado. Obrigada pela parceria, pelo cuidado e pelos chamegos.

Aos meus pais, Susan e Günther, que em toda a minha formação, quer seja pessoal ou profissional, investiram tanto em mim e por causa disso pude chegar até aqui. Vocês são meus maiores exemplos. Agradeço também aos meus irmãos Pê e Cris, por longe ou perto me incentivarem e apoiarem.

Obrigada também a todos os familiares e amigos que me apoiaram com palavras de incentivo, orações e até marmitas: o carinho de vocês me deu forças.

Meu agradecimento especial também aos meus colegas de faculdade, que passaram a ser grandes amigos. Amanda, Alisson e Bruna, obrigada pelos cafés, pelos trabalhos e pelas descontrações nesses anos difíceis, vocês foram essenciais.

Agradeço ainda a UFSC por ter me proporcionando um ensino gratuito e de qualidade, por ter criado ambientes de aprendizado e crescimento dentro e fora da sala de aula. Agradeço aos incríveis professores que compartilharam seu conhecimento, me contagiando com a paixão e orgulho pela profissão que exercem.

Por fim, agradeço ao meu orientador Roni Matheus Severis, que dispôs do seu tempo e conhecimento para me orientar, muito obrigada.

“Eu vi em campo aberto se erguer construção,
e foi com muitas pedras, e foi com muitas mãos.”

(Pedro Valença, 2019)

RESUMO

Atualmente a busca pela utilização de materiais e métodos mais sustentáveis na construção civil vem crescendo, principalmente pela percepção dos impactos que as técnicas tradicionais causam ao meio ambiente. Nesse sentido, determinar quais materiais são mais sustentáveis requer pesquisa e uma metodologia de análise cientificamente consolidada. A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que avalia aspectos e impactos durante toda vida do produto, começando na fabricação (berço) e terminando no descarte final (túmulo). O presente trabalho fez uma revisão bibliográfica de diferentes tipos de telhado e da metodologia de ACV, definiu os termos utilizados e descreveu o sistema construtivo de telhados. Em seguida se fez a ACV de quatro alternativas de telhados para uma residência, entre eles, tradicionais e sustentáveis. A ACV foi realizada no software SimaPro, pelo método ReCiPe, analisando sete categorias de impacto. Executou-se uma análise de sensibilidade afim de verificar a influência do transporte nos impactos potenciais. Os resultados apontaram o telhado de cerâmica como o mais impactante em seis, das sete categorias, enquanto o telhado de Tetra Pak apresentou os menores impactos em seis das sete categorias. Assim, pode-se concluir que os telhados sustentáveis, pela análise de ACV realizada, apresentaram menores impactos potenciais.

Palavras-chave: telhados; telhado sustentável; Avaliação do Ciclo de Vida; construção sustentável; construção civil.

ABSTRACT

The interest for using more sustainable materials and methods in civil construction has been growing, mainly due to the perception of the impacts that traditional techniques cause to the environment. For this reason, determining which materials are more sustainable requires research and a scientifically consolidated analysis methodology. Life Cycle Assessment (LCA) is a methodology that evaluates aspects and impacts during the entire life of the product, from the manufacture (cradle) until the final disposal (grave). The present study shows a literature review about different types of roofs, a description about the LCA methodology, proposed the terms used and described the roof construction system. Furthermore, a life cycle assessment of four roofing alternatives for a residence was carried, comparing the traditional and sustainable method. The LCA was performed in the SimaPro software, using the ReCiPe method, analyzing seven impact categories. A sensitivity analysis was carried to verify the influence of transportation on potential impacts. The results showed that the ceramic-based roof had the highest impact in six of the seven categories, while the Tetra Pak-based roof had the lowest impact in six of the seven categories. Therefore, it can be concluded that the sustainable roofs, by the LCA analysis performed, presented lower potential impacts.

Keywords: roofs; sustainable roof; Life Cycle Assessment; sustainable construction; civil construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo das telhas cerâmicas.	23
Figura 2 - Tipos de telha cerâmica.	24
Figura 3 - Telha cerâmica tipo portuguesa de diversas cores.	24
Figura 4 - Telha de concreto.	26
Figura 5 - Residência com telha de concreto.	26
Figura 6 - Fluxograma da produção de telhas de concreto.	27
Figura 7 - Fluxograma processo produtivo de telhas Tetra Pak.	30
Figura 8 - Telha Tetra Pak.	31
Figura 9 - Residências com telhado Tetra Pak.	31
Figura 10 - Fluxograma do processo produtivo da telha PET.	34
Figura 11 - Telha PET em cobertura de edifício.	35
Figura 12 - Fluxograma das fases de uma ACV.	37
Figura 13 - Relação entre parâmetros, categorias de impacto <i>midpoint</i> e <i>endpoint</i> do método ReCiPe.	40
Figura 14 - Planta baixa da residência em estudo.	43
Figura 15 - Ilustração da estrutura do telhado residencial.	44
Figura 16 - Vista lateral da estrutura do telhado, destacando a tesoura.	44
Figura 17 - Vista inferior da estrutura do telhado de concreto.	45
Figura 18 - Detalhamento da trama estrutural do telhado de concreto.	46
Figura 19 - Detalhamento da estrutura de terças no telhado Tetra Pak.	46
Figura 20 - Fronteiras do sistema de telhados do berço ao local de instalação.	47
Figura 21 - Esquema de numeração para peças da tesoura.	48
Figura 22 - Contribuição relativa das partes do telhado de cerâmica por categoria de impacto, desconsiderando o transporte.	55
Figura 23 - Contribuição relativa das partes do telhado de concreto por categoria de impacto, desconsiderando o transporte.	57
Figura 24 - Contribuição relativa das partes do telhado de Tetra Pak por categoria de impacto, desconsiderando o transporte.	59
Figura 25 - Contribuição relativa das partes do telhado de PET por categoria de impacto, desconsiderando o transporte.	62

Figura 26 - Comparação dos potenciais impactos por tipo de telhado para cada categoria, desconsiderando o transporte.65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quantitativo de peças de madeira para Tesoura.....	48
Quadro 2 - Quantificação de acessórios para tesoura.	49
Quadro 3 - Peso e rendimento das telhas e cumeeiras.	50
Quadro 4 - Quantitativo de materiais específicos por tipo de telhado.	51
Quadro 5 - Resumo da massa por tipo de material para cada telhado.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Contribuição das partes do telhado de cerâmica por categoria de impacto desconsiderando o transporte.....	56
Tabela 2 - Contribuição das partes do telhado de cerâmica por categoria de impacto, considerando o transporte.....	56
Tabela 3 - Contribuição das partes do telhado de concreto por categoria de impacto desconsiderando o transporte.....	58
Tabela 4 - Contribuição das partes do telhado de concreto por categoria de impacto, considerando o transporte.....	58
Tabela 5 - Contribuição das partes do telhado de Tetra Pak por categoria de impacto desconsiderando o transporte.....	60
Tabela 6 - Contribuição das partes do telhado de Tetra Pak por categoria de impacto, considerando o transporte.....	61
Tabela 7 - Contribuição das partes do telhado de PET por categoria de impacto desconsiderando o transporte.....	63
Tabela 8 - Contribuição das partes do telhado de PET por categoria de impacto, considerando o transporte.....	64
Tabela 9 - Contribuição por tipo de telhado para cada categoria de impacto, desconsiderando o transporte.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV - Avaliação de Ciclo de Vida

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

DRF – Depleção de Recursos Fósseis

DRM – Depleção de Recursos Minerais

EAD – Eutrofização da Água Doce

EM – Ecotoxicidade Marinha

FMP – Formação de Material Particulado

MC – Mudanças Climáticas

UTS – Uso e Transformação do Solo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	TELHADOS E SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	19
2.2	TIPOS DE TELHAS	21
2.2.1	Telha de cerâmica	22
2.2.2	Telha de concreto	25
2.2.3	Telha de Tetra Pak	28
2.2.4	Telha de PET	33
2.3	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	36
2.3.1	Definição de objetivo e escopo	37
2.3.2	Análise de Inventário	38
2.3.3	Avaliação de impacto	38
2.3.4	Interpretação	40
3	METODOLOGIA	42
3.1	SISTEMA DE TELHADO	42
3.2	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	47
3.2.1	Definição do objetivo e escopo	47
3.2.2	Análise de inventário	48
3.2.3	Avaliação de impacto	52
4	RESULTADOS	54
4.1	RESULTADOS DO TELHADO DE CERÂMICA	54
4.2	RESULTADOS DO TELHADO DE CONCRETO	57
4.3	RESULTADOS DO TELHADO DE TETRA PAK	59
4.4	RESULTADO DO TELHADO DE PET	62
4.5	COMPARAÇÃO DOS TIPOS DE TELHADO	65
5	DISCUSSÃO	67
5.1	ANÁLISE DOS TELHADOS	67

5.2	IMPLICAÇÕES	69
6	CONCLUSÃO.....	71
	REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável pelo crescimento das cidades, erguendo casas, escolas, hospitais e demais empreendimentos que possam ajudar no desenvolvimento da sociedade. Porém, este setor também é responsável por causar diversos impactos ao meio ambiente. Segundo Son et al. (2011), o setor consome 40% da produção de energia no mundo, 40% da matéria prima, 25% da madeira e 16% do total de água, sendo ainda responsável por 35% das emissões de dióxido de carbono (CO₂). A construção civil é essencial para a sociedade, entretanto, necessita de novas alternativas que venham a minimizar os impactos gerados pelo setor.

Os edifícios sustentáveis são alternativas que apresentam vantagens acerca da eficiência energética, hídrica e na redução do consumo de recursos naturais. Essas construções buscam alternativas mais ecológicas e eficientes de edificar (LOPES, AMADO e POGGI, 2012). Dentro dessa concepção, enquadra-se a busca por materiais mais sustentáveis. Segundo o relatório de Brundtland (1987), o desenvolvimento sustentável deve atender as necessidades do presente, sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Assim, materiais nomeados sustentáveis visam diminuir os impactos gerados no meio ambiente.

Nesse contexto de proteção ambiental e produtos ditos sustentáveis, a ACV é uma técnica para avaliar e compreender os impactos gerados na fabricação, consumo e descarte. Segundo a ABNT (2009a), essa metodologia possibilita apontar melhorias de desempenho ambiental aos produtos, informar a sociedade, tomadores de decisão e demais partes interessadas, apontar indicadores de desempenho ambiental relevantes e valorizar o marketing para os fabricantes. A ACV tem o objetivo de sinalizar aspectos e impactos gerados desde a fabricação até o descarte do produto (do berço ao túmulo). Yoshimura, Yoshimura e Wiebeck (2012) destacam ainda a ACV como um auxiliar na tomada de decisão para comparação de produtos de mesma função.

São diversos os produtos que compõem os sistemas de uma residência, tais como fundações, estrutura, vedação, esquadrias, revestimentos, pisos e cobertura, sendo que cada sistema possui uma gama de alternativas de materiais para serem empregados nas casas. Um estudo feito por Medeiros, Durante e Callejas (2018) avaliou os impactos ambientais de diferentes sistemas construtivos pela metodologia

de ACV. O estudo apontou que o sistema de cobertura apresentou os maiores valores em duas das sete categorias analisadas, sendo elas toxicidade humana e depleção de metais.

Em um outro estudo desenvolvido por Lessa (2009), a autora questiona a veracidade da denominação “ecológica” nas autodenominadas “telhas ecológicas” que estão sendo comercializadas no Brasil. Lessa (2009) busca compreender se os requisitos de sustentabilidade são de fato aplicados ou apenas utilizados como marketing, chegando à conclusão de que nenhuma das telhas analisadas podem ser consideradas totalmente ecológicas. Ambos os estudos levantam impactos que o sistema de cobertura pode causar ao meio ambiente, porém ficam lacunas referentes a possíveis alternativas mais sustentáveis e a comparação dos impactos nos diferentes materiais. Dessa forma, diante da gama de telhados sustentáveis e tradicionais disponíveis no mercado, busca-se uma forma de identificar quais alternativas se mostram superiores, sob o ponto de vista ambiental.

Nesse contexto, o presente trabalho visou uma análise do ciclo de vida de diferentes alternativas de telhados residenciais, construídos com materiais sustentáveis e tradicionais, objetivando levantar os possíveis impactos ambientais causados, para então comparar os resultados entre si.

1.1 OBJETIVOS

Diante do exposto o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho são descritos a seguir.

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar os impactos ambientais potenciais de telhados residenciais construídos com diferentes tipos de cobertura, por meio da ACV.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar um sistema construtivo de coberturas que utiliza telhas de diferentes tipos de materiais;

- b) Executar uma ACV dos sistemas construtivos, considerando os diferentes telhados residenciais;
- c) Analisar de maneira quali-quantitativa o perfil ambiental dos telhados residenciais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TELHADOS E SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O desenvolvimento sustentável, termo que foi conceituado no relatório de Brundtland como um desenvolvimento que atenda às necessidades do presente, sem comprometer as gerações futuras (BRUNDTLAND, 1987), também é embasado nos três alicerces: planeta, pessoas e lucro. Essa base visa contemplar o campo ambiental, social e econômico, que, ao se trabalhar em conjunto, proporciona o desenvolvimento sustentável. Do ponto de vista ambiental, é a busca pela proteção do meio ambiente, sem comprometer a qualidade de vida das pessoas (LESSA, 2009).

Corrêa (2009) fez um levantamento das medidas para implementação de programas que promovem o desenvolvimento sustentável segundo o relatório de Brundtland. Entre as medidas, têm-se o uso de novos materiais na construção, o uso de fontes alternativas de energia e reciclagem de materiais reaproveitáveis. O mesmo autor também relata o conceito trazido na conferência ECO-92, de combinar progresso econômico com materiais que tragam consciência ecológica. Com isso, começa uma relação da sustentabilidade na construção civil.

Embasado no desenvolvimento sustentável, o termo construção sustentável passou a ser disseminado na construção civil. Segundo Araújo (2008), a construção sustentável não deve ser pensada como uma forma de resolver problemas pontuais, mas sim como uma nova maneira de pensar o conjunto. Baseia-se em um modelo que proponha soluções para os problemas ambientais, sem esquecer as tecnologias e a necessidade de suprir as demandas dos usuários. Mateus (2009) descreve que, para o edifício ser sustentável, deve ser considerado todo o ciclo de vida do mesmo, o que inclui a qualidade ambiental, a qualidade funcional e demais fatores relativos ao desempenho na fase de uso.

Trabalhos desenvolvidos acerca do tema são muitos na literatura. Mateus (2009) propôs uma metodologia de avaliação da sustentabilidade de edifícios habitacionais, na fase de projeto, aplicado a realidade de Portugal. Ainda no âmbito da edificação como um todo, Medeiros, Durante e Callejas (2018) analisaram os potenciais impactos ambientais na fase de construção dos sistemas de fundação, superestrutura, vedação, cobertura, esquadrias e revestimentos de um edifício. Sousa

(2010), desenvolveu um método para escolha de materiais de construção que levam em consideração o seu desempenho sustentável em critérios como consumo de energia, matéria prima e emissões atmosféricas. A autora também fez um estudo de caso com alternativas de isolamento térmico para paredes em uma escola em Braga, comparando materiais como celulose, lã de ovelha e fibras de madeira. Em relação a materiais específicos para construções, Carlisle e Friedlander (2016) analisaram a importância da durabilidade e manutenção do conjunto de esquadrias de janela durante o ciclo de vida. Santos (2012) propôs a comparação de sistemas construtivos de alvenaria com o sistema *Wood Light Frame*, de modo a verificar qual seria mais vantajoso do ponto de vista da conservação do meio ambiente. Já Antunes (2020) utilizou a ACV para comparar um piso convencional de estacionamento com outro que utilizou pavimento permeável, de forma a reutilizar a água na edificação.

Dos estudos realizados sobre telhados, Luiz et al. (2019) fizeram uma revisão investigativa na literatura sobre as telhas disponíveis no mercado brasileiro. Os autores apontaram características das telhas cerâmicas, de fibrocimento, concreto e telhados verdes. Algumas pesquisas foram desenvolvidas a fim de obter produtos mais sustentáveis, seja por processo de reciclagem ou na incorporação de materiais descartados na fabricação das telhas (PASSOS, 2005; TESKE; GONÇALVES; NAGALLI, 2015; FERNANDES, 2017; LUIZ et al., 2019). Outros autores compararam diferentes tipos de telhas e telhados determinando as características e analisando os impactos causados por cada uma (BOETTGER e MARTINS, 2018; SCHELB, 2016; ANICER, 2011). Caldeira, Sposto e Caldas (2016) também fizeram uma comparação, porém, entre telhados com e sem laje, analisando a energia incorporada total na edificação. Yoshimura, Yoshimura e Wiebeck (2012) realizaram uma ACV de telhas ecológicas à base de papel reciclado e ANICER (2011) de telhas cerâmicas e de concreto.

De forma a embasar a rotulagem de telhado dito sustentável, Lessa (2009), buscou por parâmetros que determinassem se as telhas poderiam ser denominadas sustentáveis. Em seu estudo, a autora considera pontos como atendimento a parâmetros técnicos, durabilidade, resistência à ruptura, processo produtivo, matéria-prima, instalação, transporte, peso, possibilidade de reciclar pós uso e escala de produção das telhas. Schelb (2016), também desenvolveu seu trabalho buscando

parâmetros para determinação da sustentabilidade, dentre os critérios de análise do produto, ele destaca a gestão de energia, o qual o produto que colabora na diminuição do gasto de energia na residência contempla mais pontos na escala de “mais sustentável”. Outro critério destacado por Schelb (2016) é a redução de resíduos, onde projetos que apresentam soluções modulares e desmontáveis apresentam maior vantagem na diminuição de resíduos na obra.

No tocante à construção civil, a NBR 15.310/2009 define telhado como “parte do sistema de cobertura de uma edificação constituída pelas telhas e acessórios.” (ABNT, 2009, p.5), enquanto a NBR 15.575-5/2021b define o sistema de cobertura como um conjunto de componentes, no topo da construção, que tem por finalidade estancar às águas pluviais e salubridade, além de proteger os demais sistemas das edificações. Por sua vez, as telhas são peças utilizadas em telhados, podendo ser fabricadas de diversos tipos de materiais, variando suas dimensões, formatos e cores.

Ressalta-se, portanto, o fato da busca de materiais sustentáveis, em todos os sistemas construtivos. A NBR 15.575-1/2021a, norma que dispõe dos requisitos gerais de desempenho em edificações habitacionais, apresenta uma lista de requisitos do usuário que devem ser atendidos na edificação. Nesta lista está inclusa a sustentabilidade, relacionada a fatores de durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental. A norma também recomenda a seleção de materiais para residências, que se tenha uma racionalização de recursos naturais, diminuindo o consumo de água, energia e matéria-prima e a escolha de materiais que causem menor impacto ambiental, desde a obtenção de matéria prima até a disposição final.

2.2 TIPOS DE TELHAS

A grande variedade de telhas disponíveis pode ser separada em dois grupos principais. As telhas convencionais são as telhas mais consolidadas no mercado, com propriedades comprovadas e normas regulamentadas. Em sua maioria, utilizam matéria prima mineral virgem. Alguns exemplos das telhas convencionais são telha cerâmica, de concreto e fibrocimento (LESSA, 2009). As telhas ditas ecológicas ou sustentáveis, tem a característica de serem produzidas com materiais reciclados, utilizarem materiais alternativos em sua composição ou possuírem um processo produtivo diferenciado (LESSA, 2009). Apesar do termo utilizado, pode-se dizer que

são telhas supostamente sustentáveis, uma vez que não existem documentos comprovando a veracidade desta informação fornecida pelos fabricantes.

Apesar das nomenclaturas, segundo Schelb (2016), para saber se o produto realmente causa menos impactos ambientais, é necessário verificar a matéria-prima utilizada, os recursos e o processo produtivo.

A seguir, serão descritos alguns tipos de telhas encontradas no mercado. As subseções contemplarão as características principais, processo produtivo e demais informações específicas para cada material.

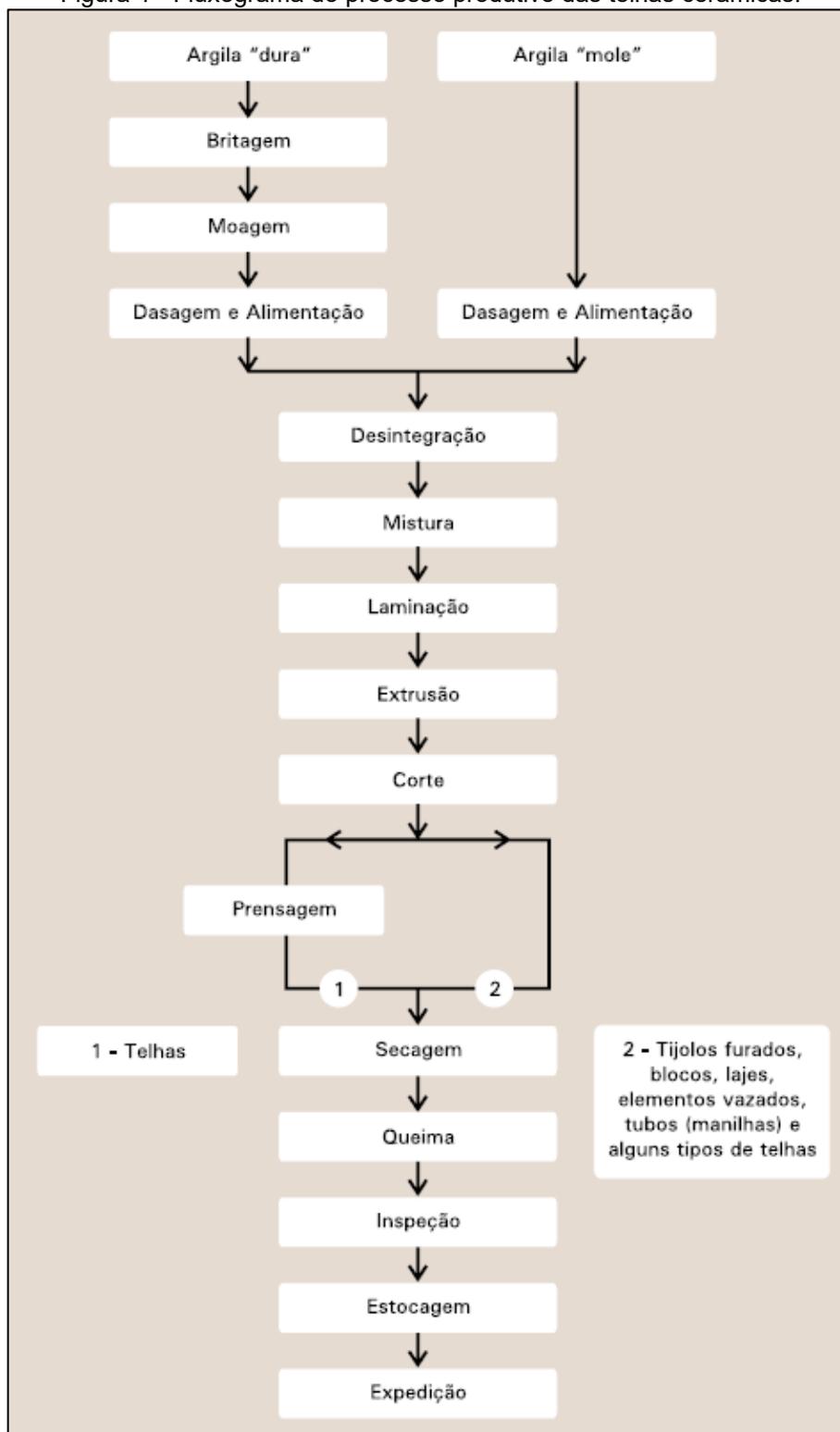
2.2.1 Telha de cerâmica

Estudos arqueológicos apontam a utilização de artefatos cerâmicos desde a antiguidade, em diferentes regiões do mundo. No Brasil, a utilização da cerâmica para construção civil se intensificou no final do século XIX, com a criação de olarias que produziam, de forma manual, tijolos, telhas, tubos e outros produtos (SEBRAE, 2008). Segundo IBGE (2016), em 2018 foram vendidas 2.431.565.000 telhas de cerâmica, e com isso, percebe-se que a utilização desse tipo de material em coberturas já se encontra consolidada no Brasil, sendo utilizada há vários anos.

A produção das telhas cerâmicas começa com o processo de extração da matéria prima em jazidas. Em seguida, a argila é estocada a céu aberto a fim de decompor a matéria orgânica, lixiviar os sais solúveis e homogeneizar a umidade, garantindo melhor plasticidade e trabalhabilidade à matéria. A etapa da alimentação encaminha a quantidade de matéria para a linha de produção, dosando-a e passando para o separador. A argila é homogeneizada por esteiras, sendo também umidificada no ponto adequado para extrusão. No processo de laminação, grãos ainda presentes são quebrados para diminuir a granulometria e encaminhados para extrusão, onde a massa é compactada em câmara de alta pressão, já no molde desejado para a telha.

Ao sair da extrusão, a telha é cortada na dimensão adequada e encaminhada para secagem. Após alcançar a umidade adequada, acontece a queima em temperaturas entre 850 e 950°C, o que garante as propriedades desejadas ao material. Para garantir a qualidade, as telhas passam pelo último processo de expedição, sendo inspecionadas e embaladas para distribuição (NAZÁRIO, 2019). A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo produtivo descrito.

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo das telhas cerâmicas.



Fonte: SEBRAE (2008).

As telhas cerâmicas possuem diversas formas e cores, como mostram a Figura 2 e a Figura 3. Dentre as diversas alternativas, o modelo mais tradicional é o

da telha portuguesa natural, que possui dimensões médias 41 cm x 23 cm x 1,2 cm, com um peso de 2,3 kg e rendimento de 15 telhas/m² (CERÂMICA SILVA, 2022b). O custo deste tipo de telha é de cerca de R\$ 1,71 por unidade, ou R\$ 29,07 o metro quadrado (LEROY MERLIN, 2022b; CASSOL, 2022).

Figura 2 - Tipos de telha cerâmica.



Fonte: Sua obra (2018).

Figura 3 - Telha cerâmica tipo portuguesa de diversas cores.



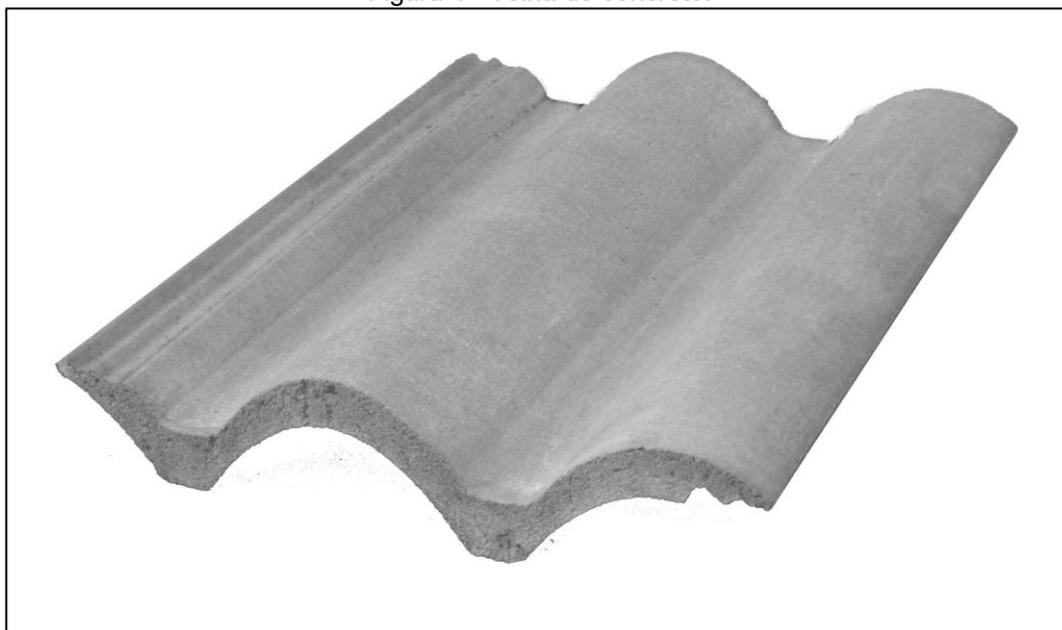
Fonte: Autoria própria (2022).

A indústria de cerâmica causa diversos impactos ambientais, desde a obtenção da matéria prima até o descarte final. Segundo De Almeida, Soares e Moura (2014), na obtenção da matéria prima em jazidas ocorre a supressão vegetal, alterando também a topografia natural do terreno. Na etapa de queima do produto, faz-se uso de uma grande quantidade de energia, proveniente da queima de combustíveis (DE ALMEIDA; SOARES; MOURA, 2014; SEBRAE, 2008) e destaca-se que há um uso intensivo de lenha, representando 50% do consumo de energia no setor. Os mesmos autores também levantam impactos como produção de cinzas, óxidos de enxofre, dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio consequência da queima da lenha. Os resíduos também são impactos levantados por De Almeida, Soares e Moura (2014), os quais relatam desperdícios no processo produtivo e a destinação final para aterros sanitários.

2.2.2 Telha de concreto

O cimento é um dos materiais mais utilizados na construção civil e, ao somar com agregados (areia e brita), forma um material durável e resistente: o concreto. Desde meados da década passada, a telha feita de concreto passou a ganhar maior visibilidade no mercado de médio padrão, pois até o momento apenas residências de alto padrão utilizavam esse material (VALCARENCHI e PIOVESAN, 2011). Segundo o mesmo autor, o aumento da produção dessas telhas, em algumas regiões, associa-se à falta de matéria-prima para produção das telhas cerâmicas. A Figura 4 contém uma telha de concreto e a Figura 5 um exemplo de residência que utilizou a telha em sua cobertura.

Figura 4 - Telha de concreto.



Fonte: CONSTRUINDO DECOR (2020).

Figura 5 - Residência com telha de concreto.



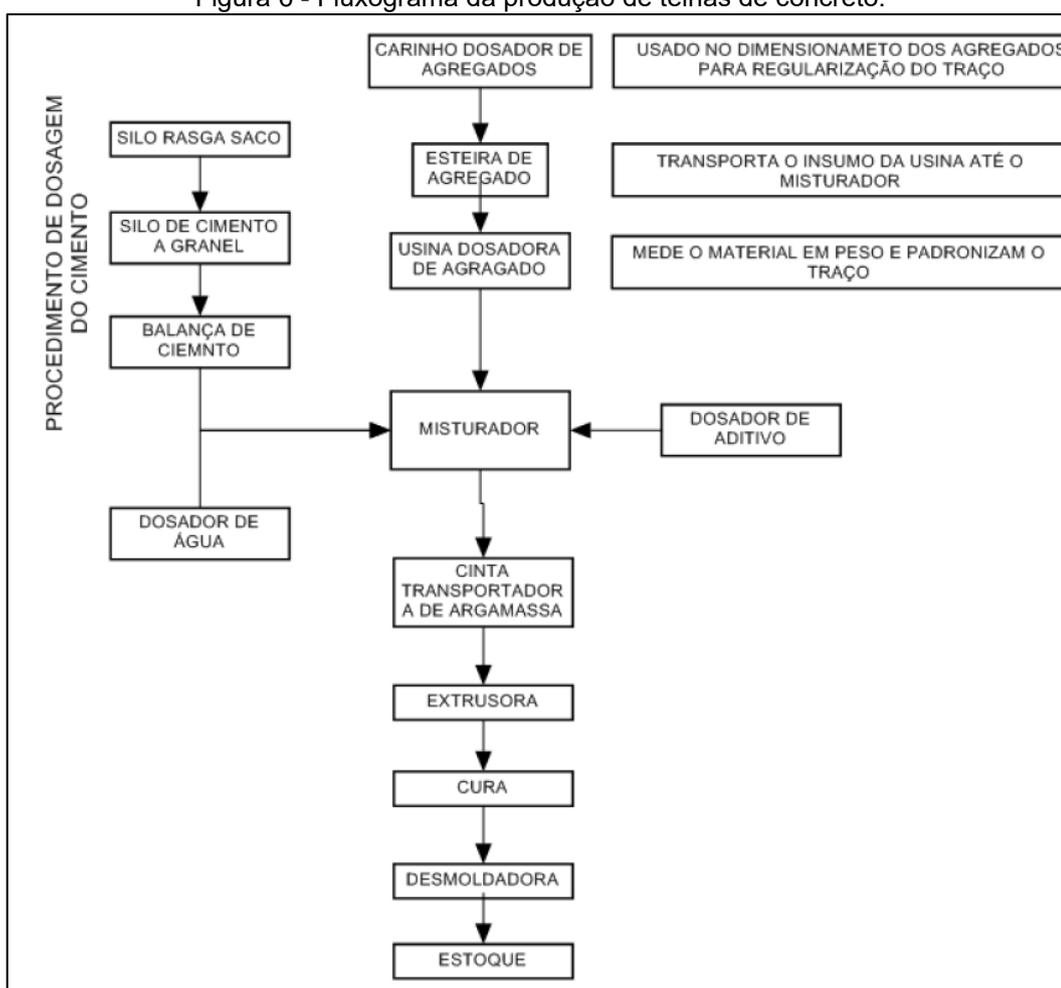
Fonte: HABITISSIMO, 2022.

Segundo a NBR 13.858-2 (ABNT, 2009d), que dispõe dos requisitos e métodos de ensaio para telhas de concreto, a fabricação das telhas deve conter cimento, agregados e água, podendo utilizar pigmentos para colorir a telha, aditivos

ou adições. A NBR 13.858-2 (ABNT, 2009d) também dispõe de requisitos quanto a geometria, requisitos físicos, vida útil e unidade de comercialização.

Segundo Fernandes (2017), o primeiro processo na produção das telhas de cimento consiste no armazenamento e peneiramento da areia. Em seguida a areia é misturada com cimento e pigmento (quando necessário) para ser inserida no misturador e posteriormente para a extrusora. A massa é disposta em moldes que possuem o formato da telha, para então passar pela extrusão. Após esse processo, a telha é cortada nas dimensões da forma, garantindo o padrão exigido. As telhas podem receber uma camada de verniz antes de serem dispostas nas estantes metálicas que serão levadas à câmara de cura por 24 horas. Após a cura, elas são desmoldadas, passam pela aplicação de hidrofugantes, para então serem armazenadas e comercializadas (FERNANDES, 2017). A Figura 6 apresenta o fluxograma da produção das telhas de concreto.

Figura 6 - Fluxograma da produção de telhas de concreto.



Fonte: FERNANDES (2017).

Segundo Artplan [2018?], as telhas de concreto possuem dimensões de 42 cm x 33 cm x 1,2 cm, com um peso nominal de 4,7 kg. O rendimento da telha é de 10,5 peças por metro quadrado e tem resistência de mais de 250 kgf, necessitando de uma inclinação do telhado de 30% (ARTPLAN, [2018?]). O preço da telha é, em média, R\$ 3,98 a peça, considerando o rendimento mencionado o custo fica em R\$ 41,79 o metro quadrado (SODIMAC, 2021; RISSO, 2022). Ressalta-se que os preços das telhas podem sofrer alterações, os valores aqui registrados correspondem ao mês de maio de 2022.

Contendo cimento em sua composição, a produção das telhas de concreto necessita de um grande consumo de energia. Segundo Worrell et al. (2001), a etapa de produção de clínquer corresponde a 70% a 80% do consumo total de energia na produção de cimento. O dióxido de carbono (CO₂) é um dos principais gases que causam o efeito estufa, na produção de cimento a emissão de CO₂ vem da combustão de combustíveis fósseis, da calcinação do calcário para formação do cimento e do consumo de energia, quando a matriz provém de combustíveis fósseis (WORRELL et al., 2001).

2.2.3 Telha de Tetra Pak

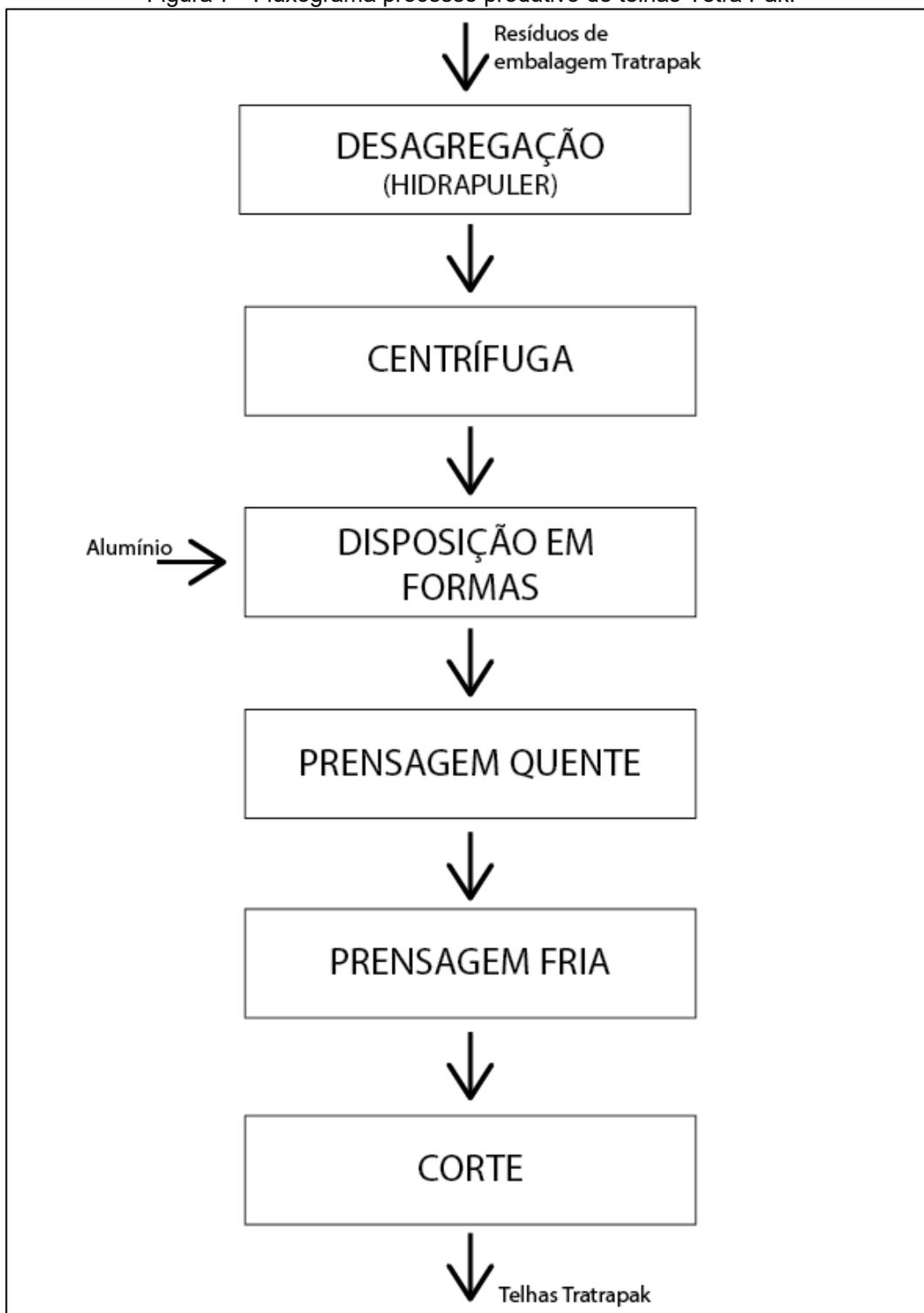
As embalagens Tetra Pak foram idealizadas no começo da segunda guerra mundial, com a intenção de conservar os alimentos por mais tempo. Entretanto, o produto passou a ser comercializado apenas em 1961, por uma empresa na Suécia (JALES, 2013). As embalagens, também conhecidas por longa vida ou acartonadas, são compostas por seis camadas, sendo duas de polietileno, seguidas por uma de alumínio, outra de polietileno, papel e uma última de polietileno. São então compostas 75% por papel duplex, 20% de polietileno e apenas 5% de alumínio (NEVES, 1999).

A utilização das embalagens como matéria prima vem sendo aplicada para diversos usos como, por exemplo, substituto do isopor para proteção de produtos no transporte, produção de canetas, pastas, lixeiras (UEMURA, 2015) e contemplando a construção civil na fabricação de forros, placas e telhas, estas que serão mais detalhadas a seguir.

O processo de reciclagem desse material é complexo por causa da composição das camadas, sendo necessário separar cada componente (FERREIRA, et al., 2020). Para começar o processo de reciclagem, separa-se o papel do polietileno e do alumínio com um *hidrapulper*, que destaca as fibras de papel deixando-as suspensa para posterior retirada por bombeamento. Essas fibras podem ser utilizadas para fabricação de diversos tipos de papel (NEVES, 1999).

A reciclagem para obtenção de telhas necessita do resíduo que sobra da etapa anterior, ou seja, o polietileno e alumínio. Esses produtos, ainda juntos, são triturados para formar pequenos fragmentos, facilitando a fusão do material. O material triturado é disposto em formas ou moldes, junto com o alumínio, onde passará por um processo de prensagem quente a uma temperatura entre 160 e 200°C. Com o material fundido, o próximo processo é dispor em prensas a frio de formato ondulado, esta dará forma para a telha ao mesmo tempo que esfria o material (DE CERQUEIRA, 2000). A Figura 7 apresenta o fluxograma do processo produtivo da telha Tetra Pak, a Figura 8 apresenta uma imagem da telha e a Figura 9 possui uma casa que utilizou a telha Tetra Pak na sua cobertura.

Figura 7 - Fluxograma processo produtivo de telhas Tetra Pak.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 8 - Telha Tetra Pak.



Fonte: ECOPEX (2021).

Figura 9 - Residências com telhado Tetra Pak.



Fonte: ECOPEX (2021).

Existem diversos fabricantes desse tipo de telha no Brasil, as dimensões, em média de cada telha são de 2,20 m x 0,95 m x 6 mm, variando de acordo com a quantidade de material empregado e a pressão aplicada. O material tem uma

resistência de até 150 kg/m², um peso de 12 kg e cada telha cobre uma área de 1,7 m² (ECOPEX, 2021).

Entre as vantagens da utilização desse tipo de telha está a resistência ao fogo, a chuvas de granizo, a flexão, além de poder ser cortada em todas as direções, evitando resíduos e desperdícios na obra. A temperatura que a telha chega ao ser exposta ao sol também se mostra uma vantagem, podendo chegar em média a 39 °C, enquanto telhas de fibrocimento chegam a 65 °C, por exemplo. Essa diferença de temperatura também reflete na temperatura interna do ambiente, tornando-o menos quente ao utilizar telhas Tetra Pak e assim economizando energia (SCHELB, 2016). Araújo, Morais e Altides (2008) apontaram a vantagem do peso, que pode ser de até metade do peso das telhas de fibrocimento, o que economiza na estrutura do telhado. Schelb (2016) ressalta que há um valor ecológico agregado, uma vez que não é necessário o uso de matéria-prima virgem e aumenta o tempo de vida útil das embalagens longa vida.

Do ponto de vista econômico, ao buscar o preço das telhas no mercado, encontrou-se valores de R\$ 85,90/telha, ou R\$ 42,44/m² (LEROY MERLIN, 2022c) e R\$ 105,00/telha, equivalendo a R\$ 61,76/m².¹

Em relação aos impactos ambientais gerados pelas embalagens Tetra Pak, Leal (2019) conclui em seus estudos que o alumínio presente nas embalagens apresenta uma quantidade considerável de emissões, sendo que a redução da proporção deste elemento no todo poderia diminuir os impactos gerados.

Durante a pesquisa foram encontrados trabalhos que analisaram as telhas Tetra Pak. Araújo, Morais e Altides (2008) fizeram a caracterização físico-química, mecânica e térmica das telhas e placas feitas pela reciclagem de embalagens Tetra Pak. Os resultados compararam a telha Longa Vida com a telha de fibrocimento, tanto na análise mecânica como físico-química, e a telha ecológica se mostrou mais vantajosa. Em relação a absorção de água, a telha absorveu 0,53%, enquanto a de fibrocimento absorveu 23,34%. Além disso, a telha ecológica necessitou de uma força maior para ocorrer o rompimento tanto por tração como por flexão.

Silva, Serra e D'Oliveira (2016) fizeram a caracterização físico-química, mecânica e térmica das telhas Tetra Pak de diferentes tempos de vida útil, de forma

¹ Comunicação pessoal com a empresa Ecopex, via e-mail em 28 de abril de 2022.

a avaliar o desempenho de cada uma. Os resultados mostraram que o telhado com 3 anos de vida útil já apresentava patologias, enquanto os telhados de 6 e 10 anos também apontaram patologias, porém mais graves, como a descamação da superfície, o que levou a infiltrações, falta de resistência e até fissuras. O autor destaca a inspeção e manutenção como forma de melhorar o desempenho e aponta a necessidade de uma regulamentação para esse tipo de telha, que leve em consideração as propriedades dele.

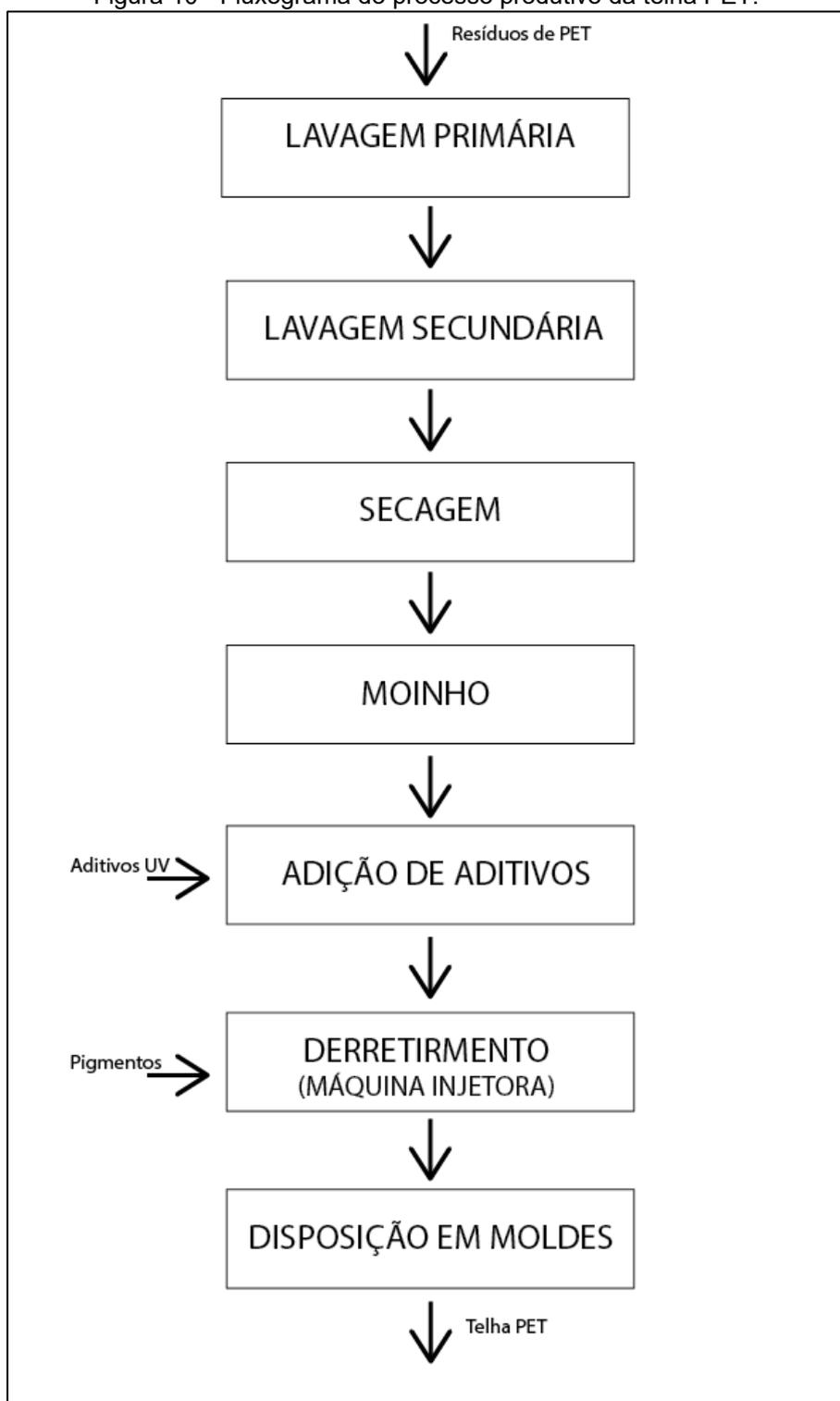
Ambos os trabalhos mostraram características de qualidade e durabilidade das telhas Tetra Pak. Araújo, Morais e Altides (2008) mostram o melhor desempenho em relação a impermeabilidade do telhado e a resistência. Entretanto, Silva, Serra e Doliveira (2016) trouxeram um ponto relevante na durabilidade do material, um fator negativo a se considerar.

2.2.4 Telha de PET

O PET, polímero também denominado politereftalato de etileno, passou a ser utilizado em recipientes de bebida, em forma de garrafas. a partir de 1973, assumindo o lugar das garrafas de vidro. Ele possui um bom desempenho para conservação do gás em bebidas gaseificadas. O material apresenta alta resistência ao impacto, peso reduzido e é reciclável (FORMIGONI e CAMPOS, 2012).

As telhas PET são formadas a partir da trituração das garrafas PET devidamente separadas e limpas, sendo compostas por uma mistura de resinas poliméricas e carbonato de cálcio. Por ser um termoplástico, o PET tem a característica de se moldar facilmente, em altas temperaturas se tornando viscoso (SOUZA; BRITO; SILVA, 2019). No processo produtivo os resíduos de PET devidamente separados passam pela primeira lavagem que retira rótulos, tampas e em seguida passa por outra lavagem, a fim de garantir a matéria prima sem impurezas. Após ser seco, o material é disposto em um moinho para sua trituração. Adiciona-se aditivos para proteção dos raios UV e derrete-se o material para posteriormente dispor em moldes com o auxílio de máquinas injetoras (ALMEIDA, et al., 2013). A Figura 10 apresenta o fluxograma do processo descrito para produção das telhas.

Figura 10 - Fluxograma do processo produtivo da telha PET.



Fonte: Autoria própria (2022).

Entre características vantajosas da telha PET, Almeida, et al. (2013) destaca a não porosidade, o que evita acúmulo de umidade e mofo quando comparado a telhas cerâmicas e a resistência a altas temperaturas. Souza, Brito e Silva (2019) também

trazem a vantagem de a telha PET possuir a mesma resistência que uma telha cerâmica, mas com o peso muito menor, o que gera a necessidade de uma estrutura menos robusta, trazendo também economia para a construção.

Ao buscar as telhas disponíveis no mercado, fez-se orçamentos a fim de obter o preço. Assim, encontrou-se a telha de 2,13 m x 0,88 m x 5 mm, custando R\$ 73,00/telha, ou R\$ 39,03/m². Outra opção foram telhas com maior comprimento, 2,44 m x 0,88 m x 5 mm, no valor de R\$ 83,00/telha, R\$ 38,60/m². A Figura 11 mostra a telha PET utilizada na cobertura de um edifício.

Figura 11 - Telha PET em cobertura de edifício.



Fonte: Casa da Telha (2021).

Em relação a reciclagem dos polímeros, Silva e Moita Neto (2016) concluíram que a reciclagem mecânica, na indústria estudada, não é ambientalmente eficiente, apresentando grande consumo de água, energia e pouco controle do tratamento dos efluentes. Uma pesquisa realizada por Figueiredo e Deorsola (2011) apontou que, de quatro empresas de reciclagem de plástico analisadas, apenas uma possuía licença ambiental de operação. Além disso, não havia sistemas de controle de emissões de compostos voláteis instalados e as estações de tratamento de efluentes eram mal dimensionadas ou inexistentes.

² Comunicação pessoal com a empresa Casa da Telha, via e-mail em 2 de maio de 2022.

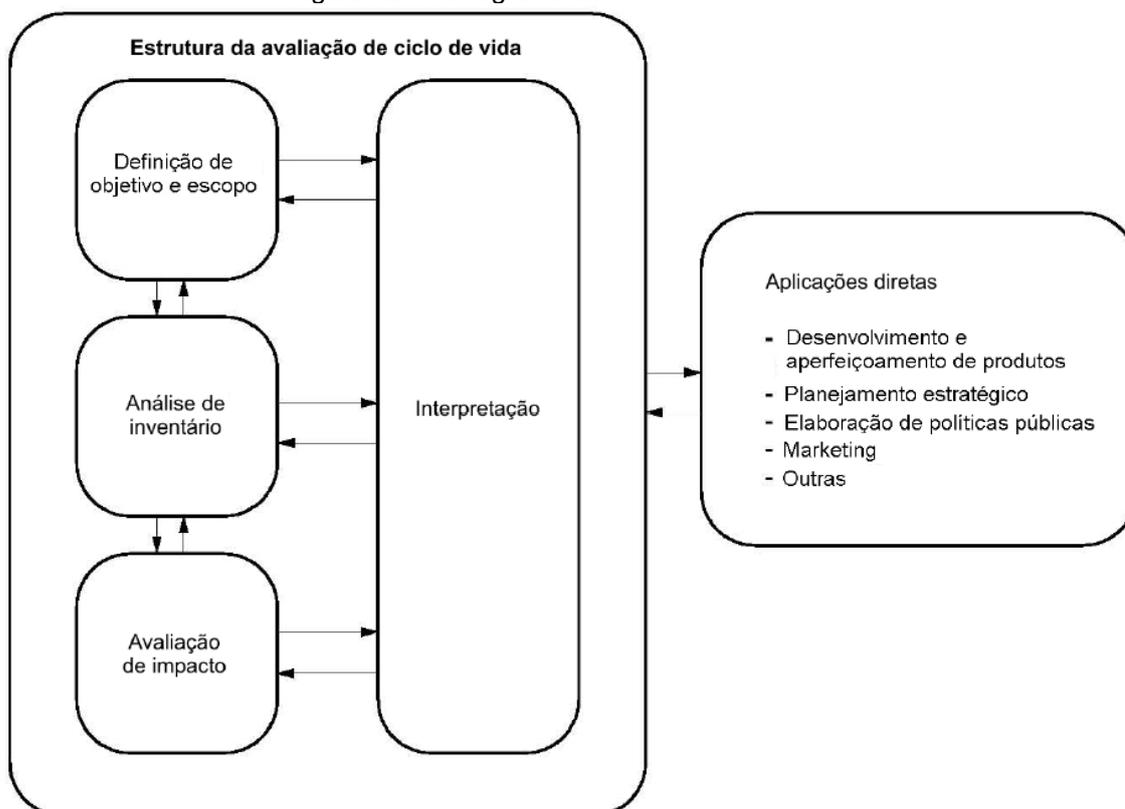
Sobre esse tipo de telha, Silva, Franciscon e Rocha (2010) fizeram a comparação de telhas recicladas de garrafa PET com telhas convencionais de cerâmica, e os resultados apontaram a diferença de preço das duas telhas e o preço do telhado. O estudo feito em São Paulo mostrou uma diferença de R\$ 6.656,60 no preço das telhas e cumeeira, sendo a telha de cerâmica mais barata. Os autores ainda destacam a dificuldade de produção das telhas PET e o transporte como fatores de maior valorização econômica, uma vez que as telhas cerâmicas são produzidas próximo a São Paulo e as telhas PET em Manaus. Porém, os autores apontam a possibilidade de reduzir o custo geral da obra ao analisar a estrutura necessária, uma vez que a telha PET pesa 0,95 kg e a cerâmica 2,4 kg.

2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A ACV é uma técnica que busca compreender os possíveis impactos ambientais associados a um produto, analisando todo ciclo de vida, desde a matéria prima, até a disposição final, ou seja, do berço ao túmulo. Na ACV, as fases utilizam os resultados das outras, o que torna o processo iterativo, e assim aumenta a completeza e consistência do estudo. Além disso, leva-se em consideração atributos e aspectos do ambiente natural, da saúde humana e dos recursos, o que gera diversos cenários para serem analisados (ABNT, 2014a).

Esta técnica de ACV contempla quatro fases: definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impacto e interpretação, como mostra a Figura 12 a interação dessas fases, assim como as aplicações do estudo (ABNT, 2014a).

Figura 12 - Fluxograma das fases de uma ACV.



Fonte: ABNT (2014a).

2.3.1 Definição de objetivo e escopo

Na primeira fase da ACV, de definição do objetivo, deve ser descrita a aplicação pretendida, as razões para elaboração do estudo, o público que será comunicado sobre os resultados do estudo (público-alvo) e se pretende usar os resultados obtidos para afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente (ABNT, 2014a). Segundo Soares, Souza e Pereira (2006), quando o objetivo é determinado de forma clara, ele auxilia nas informações para as fases seguintes, como na obtenção de dados, por exemplo.

No escopo se determinará a escala de abrangência, os limites de análise, categorias e metodologias empregadas, as limitações e pressupostos. O escopo pode ser alterado de forma a atender os objetivos propostos. Alguns pontos do escopo se mostram de grande relevância para obter resultados válidos e passíveis de comparação como a unidade funcional e as fronteiras do sistema (ABNT, 2014a). A unidade funcional será a unidade referência do estudo, ela possibilitará comparar o estudo com outros e quantificará o desempenho de um sistema do produto, sendo

assim toda informação de entrada e saída deve ser relacionada com a unidade funcional (COLTRO, 2007).

A fronteira do sistema definirá quais processos e etapas da produção do produto serão considerados no estudo, podendo abranger do berço até o túmulo e todas as etapas, ou também etapas isoladas (ABNT, 2014a; SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006). Segundo Coltro (2007), a definição de fronteira deve ser feita na etapa de escopo, porém a fronteira apenas será absolutamente definida ao obter informações suficientes para a análise de inventário, podendo retirar partes do ciclo de vida que não serão contempladas, desde que explicitamente explicadas. O grau de confiança dos resultados está diretamente relacionado aos critérios que levaram a determinação da fronteira do sistema, sendo assim sua determinação influencia na qualidade final do estudo (ABNT, 2014a).

2.3.2 Análise de Inventário

Esta etapa de análise de inventário consiste em coletar dados e efetuar os devidos cálculos, a fim de quantificar as entradas e saídas importantes do sistema. Esta fase do estudo é um processo iterativo, que exige a revisão e possíveis mudanças à medida que novos requisitos e limitações vão aparecendo (ABNT, 2014a).

Os dados de cada processo podem ser enquadrados em diferentes classificações como entradas de energia e matéria-prima; produtos, co-produtos e resíduos; emissões e descargas para o meio ambiente (ABNT, 2014a).

Segundo Bueno (2014), é importante identificar as fontes de dados e as informações necessárias, podendo ser utilizadas fontes primárias ou secundárias, porém verificando a qualidade dos dados apropriada. Assim, a autora ressalta a importância de trabalhar com dados bem documentados e revisados.

2.3.3 Avaliação de impacto

Com os resultados do inventário de ciclo de vida (ICV), pode-se estudar o sentido e a importância dos potenciais impactos ambientais levantados, associando os dados de inventários com categorias de impacto e indicadores, essa é a fase da

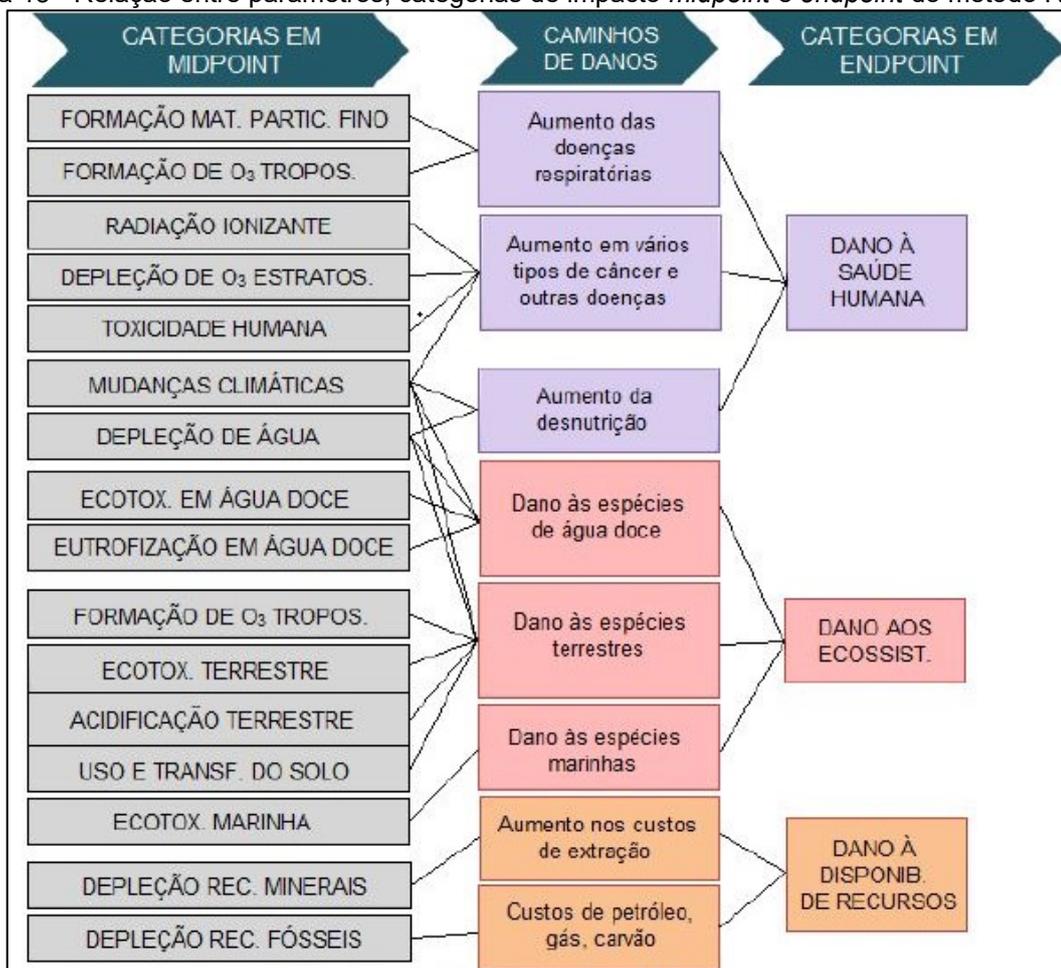
avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV) (ABNT, 2014a). Segundo Saade, Silva e Gomes (2014), essa etapa traduz os resultados numéricos da etapa anterior em resultados ambientais de relevância.

Há elementos obrigatórios compondo esta fase: seleção, classificação e caracterização (ABNT, 2014a). A seleção consiste em determinar categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização. Em todas as três definições deve-se referenciar a fonte, justificar a escolha de forma a conciliar com o objetivo e escopo (ABNT, 2014b). Na etapa de classificação, Saade, Silva e Gomes (2014) descrevem que ocorre a conexão entre os parâmetros calculados no inventário com as categorias de impacto. E por fim, na fase de caracterização faz-se o cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (ABNT, 2014b). O total de impacto é determinado utilizando fatores de caracterização, que fazem o papel de equivaler os resultados, propondo unidades comuns (SAADE; SILVA; GOMES, 2014).

São diversas as metodologias utilizadas para a avaliação do impacto do ciclo de vida, a metodologia ReCiPe se baseou no método *Handbook on LCA* e no *Eco-indicator 99*, incorporando categorias de Midpoint e endpoint e buscando ser válido para as diversas regiões do mundo (GOEDKOOOP et al., 2009).

Segundo Huijbregts et al. (2017), a metodologia ReCiPe abrange 16 categorias de impacto de *midpoint*, são elas: Mudanças climáticas, depleção do ozônio, radiação ionizante, formação de material particulado fino, formação de ozônio (danos ao ecossistema), formação de ozônio (danos a saúde), acidificação terrestre, eutrofização em água doce, toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade em água doce, ecotoxicidade marinha, uso e transformação do solo, depleção de água, depleção de recursos minerais e depleção de recursos fósseis. A Figura 13 apresenta um fluxograma da relação entre as categorias em *midpoint*, os danos e as categorias em *endpoint*.

Figura 13 - Relação entre parâmetros, categorias de impacto *midpoint* e *endpoint* do método ReCiPe.



Fonte: Adaptada de Huijbregts et al. (2017).

2.3.4 Interpretação

Nesta última fase da ACV ocorre a consideração conjunta dos resultados da análise de inventário e da avaliação de impacto. Pretende-se, nessa etapa, que os resultados sejam condizentes com o objetivo e escopo estabelecido de forma a explicar limitações, determinar conclusões e propor recomendações (ABNT, 2014a). Além disso, a NBR 14044 (ABNT, 2014b) também considera que nesta etapa deve-se identificar as questões mais significativas das etapas anteriores, verificar a completeza, sensibilidade e consistência dos resultados. Nazário (2019) ressalta que a interpretação permite avaliar se os estudos ICV e AICV estão coerentes com a determinação no objetivo e escopo, apontando a necessidade (ou não) de mudança em alguma etapa.

Segundo Bueno (2014), a fase da interpretação possui três etapas. A primeira consiste na determinação de pontos significativos como parâmetros utilizados, suposições, fluxos elementares. A segunda, é a análise desses pontos considerando a sensibilidade ou influência nos resultados obtidos, o que envolve a avaliação de completeza e consistência. Por fim, a terceira parte consiste em formular conclusões e recomendações em cima do estudo feito. Para verificar a confiabilidade dos resultados, de acordo com as limitações e incertezas utilizadas, é feita a análise de sensibilidade (BUENO, 2014), esta relaciona as entradas, saídas, metodologias, buscando compreender as incertezas de resultados (ANBT, 2014b).

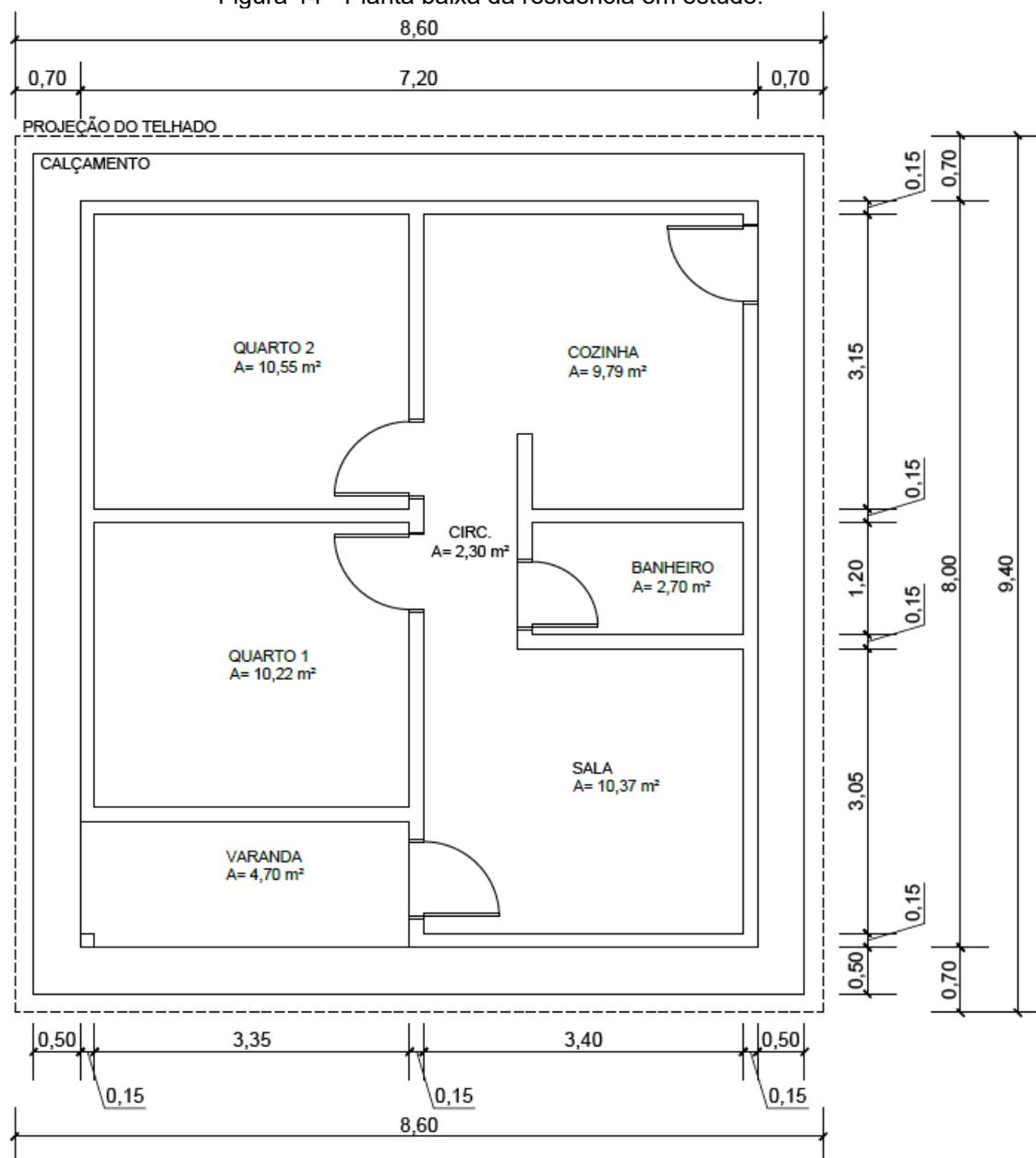
3 METODOLOGIA

A seguir será descrito a metodologia utilizada neste trabalho. Iniciando pela definição do sistema de telhado, determinando a estrutura e detalhes da estrutura do telhado. EM seguida será feito o levantamento dos dados para a ACV, incluindo as diferentes etapas instruídas na NBR 14044 (ABNT, 2014b).

3.1 SISTEMA DE TELHADO

Para alcançar os objetivos do trabalho, adotou-se um projeto de uma residência que servirá como padrão para os diferentes telhados, fornecendo assim as dimensões físicas necessárias para a análise do ciclo de vida. A residência é composta por cozinha, sala, dois quartos, um banheiro e uma varanda, a área útil da casa é de 50,63 m² e área total construída de 80,84 m², como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Planta baixa da residência em estudo.



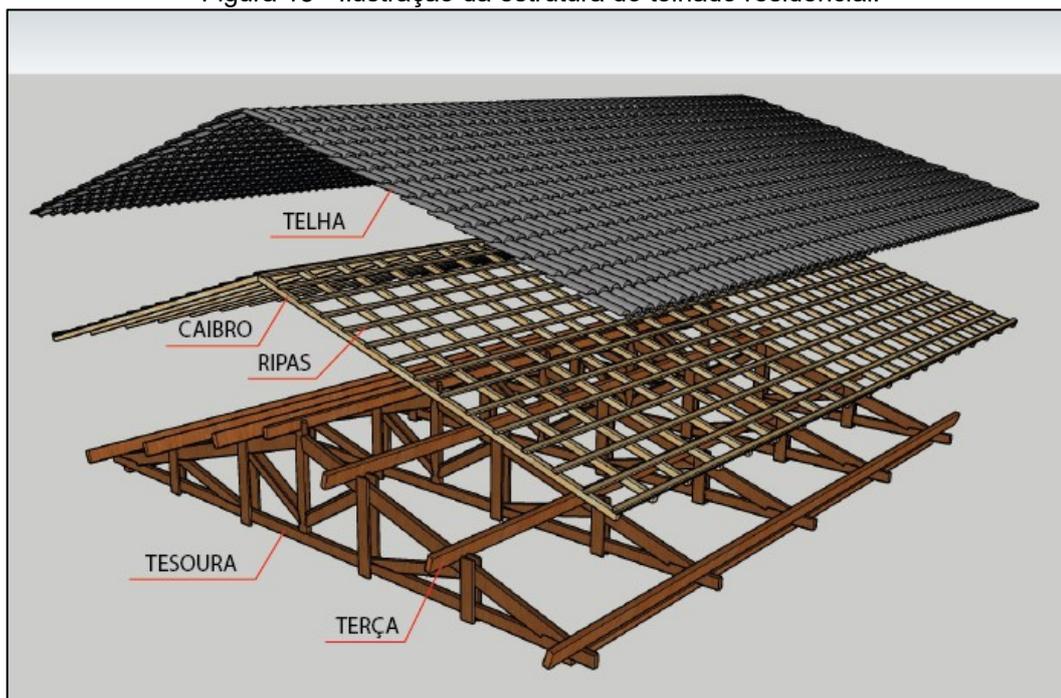
PLANTA BAIXA RESIDENCIAL

Fonte: Autoria própria (2022).

A estrutura do telhado será composta por duas águas, ou seja, duas superfícies inclinadas, cada uma contendo $42,11 \text{ m}^2$. Para este projeto adotou-se uma inclinação de 30% que atende as exigências de todos os tipos de telhas a serem analisadas. Para estrutura do telhado, foi dimensionado inicialmente com base na telha de concreto (ARTPLAN, [2018?]; MOLITERNO, 1981), fazendo adaptações para

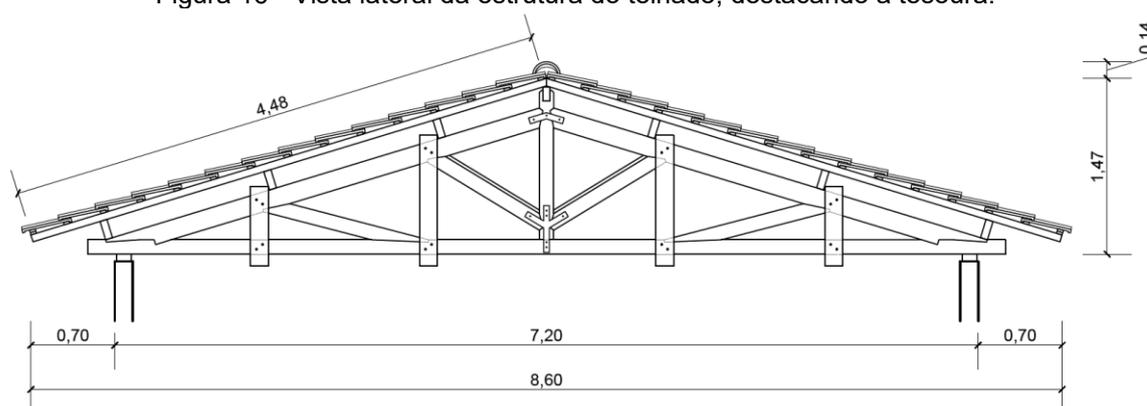
as demais telhas. Assim, conforme a Figura 15, a estrutura do telhado é composta por tesouras (Figura 16), terças, caibros e ripas, todas peças compostas por madeira de Angelim (*Hymenolobium petraeum*). A Figura 17 mostra uma vista inferior do telhado, destacando a composição de todas as partes desta cobertura.

Figura 15 - Ilustração da estrutura do telhado residencial.



Fonte: Autoria própria (2022).

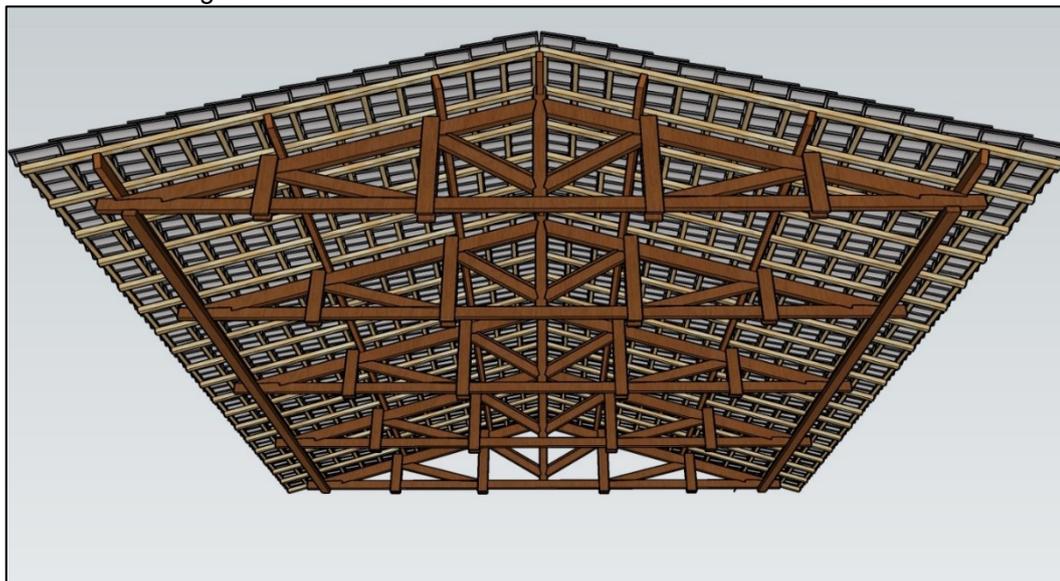
Figura 16 - Vista lateral da estrutura do telhado, destacando a tesoura.



DETALHAMENTO TELHADO

Fonte: Autoria própria (2022).

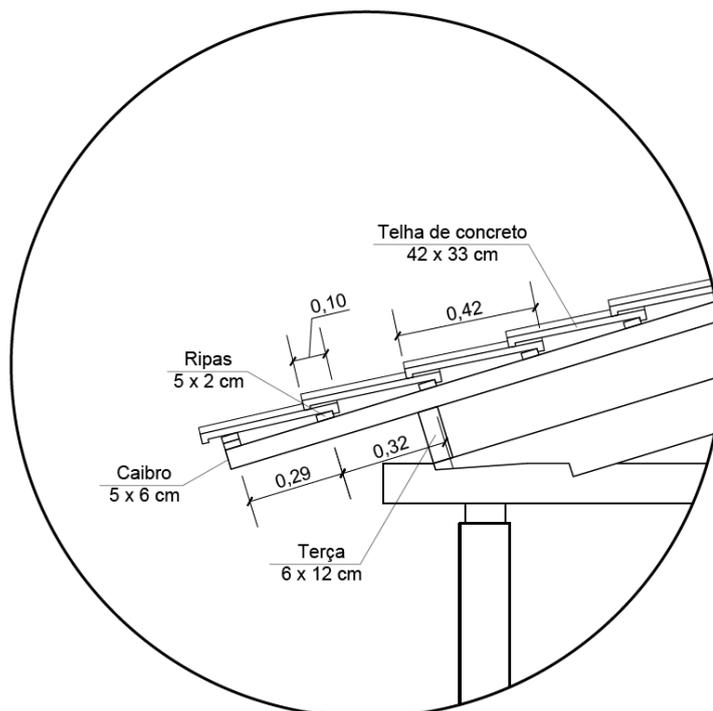
Figura 17 - Vista inferior da estrutura do telhado de concreto.



Fonte: Autoria própria (2022).

Todos os tipos de telhado serão sustentados pela mesma estrutura de tesouras, o que irá variar é a composição da trama (terça, caibros e ripas). Tanto a telha cerâmica como a telha de concreto necessitam da mesma estrutura para comportar as telhas e suportar o peso, o detalhe da Figura 18 mostra o espaçamento necessário entre as ripas. Para a telha PET, o espaçamento entre as ripas pode ser maior, de 50 cm (CASA DA TELHA, [2022?]) ao invés de 32 cm, como nas mencionadas anteriormente, reduzindo o volume total de madeira. A telha Tetra Pak, por ser mais leve e ter dimensões maiores não exige uma estrutura tão robusta, assim apenas as terças espaçadas em um metro são suficientes para sustentar as telhas (INOVA RECYCLE, [2022?]), como mostra a Figura 19, reduzindo o consumo de madeira.

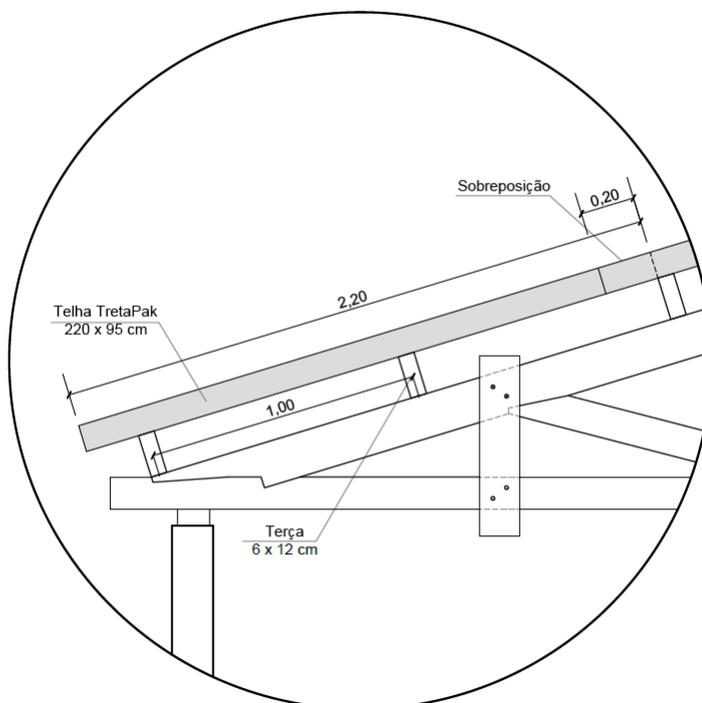
Figura 18 - Detalhamento da trama estrutural do telhado de concreto.



DETALHAMENTO TELHADO

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 19 - Detalhamento da estrutura de terças no telhado Tetra Pak.



DETALHAMENTO TELHADO

Fonte: Autoria própria (2022).

3.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

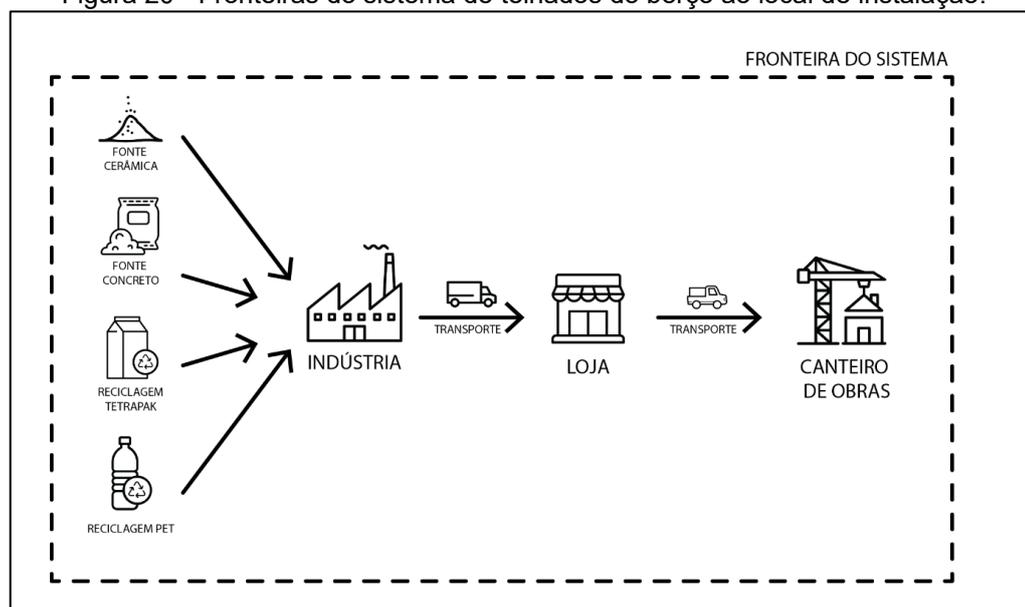
3.2.1 Definição do objetivo e escopo

O objetivo deste trabalho é analisar os potenciais impactos ambientais causados no ciclo de vida de telhados residências de cerâmica, concreto, Tetra Pak e PET, de forma a comparar os resultados entre si. Este estudo possui fins acadêmicos, sendo assim, não há o propósito de analisar produtos específicos com o viés de afirmação comparativa.

O sistema do produto consiste em um telhado para uma residência unifamiliar, composto pela parte estrutural em madeira e a telha utilizada, como descrito no tópico 3.1 e tem a função de proteger a casa de intempérie. Dessa forma, a Unidade Funcional (UF) definida foi a cobertura de uma residência unifamiliar com telhado de 84,22m² de área superficial. Atributos de capacidade de isolamento termo-acústico não estão abrangidas pela UF definida neste estudo.

A fronteira do sistema é do tipo do “*Cradle to site*”, em português do “berço ao ponto de instalação”, o qual envolve desde a obtenção da matéria prima, a fabricação até a montagem do telhado, não considerando o período de uso e descarte final do telhado, como ilustra a Figura 20. O sistema considera consumo de água, energia e recursos de matéria prima, não incluindo bens de capital.

Figura 20 - Fronteiras do sistema de telhados do berço ao local de instalação.



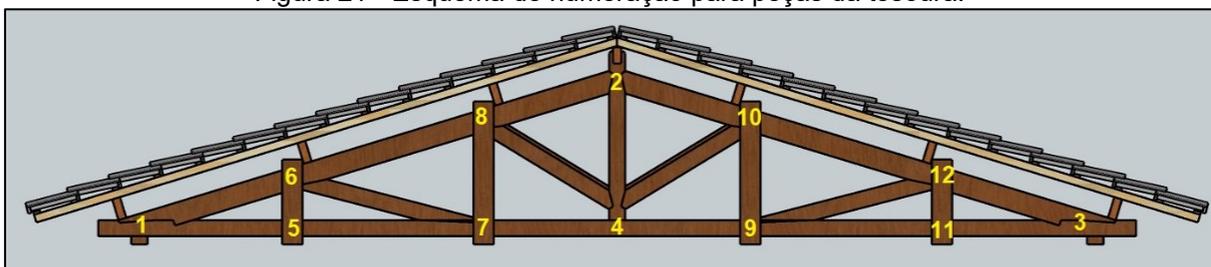
Fonte: Autoria própria (2022).

3.2.2 Análise de inventário

O levantamento de dados foi feito através de busca na literatura. Começou pelo dimensionamento da estrutura do telhado, obtendo a quantidade de madeira necessária, baseada no livro “Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira” (MOLITERNO, 1981). A madeira utilizada foi Angelim (*Hymenolobium petraeum*), devido a disponibilidade desta madeira no mercado, por apresentar maior qualidade e um bom acabamento estético, uma vez que não foi considerada laje de concreto, apenas a estrutura em madeira. Segundo Sales e Lahr (2014), a madeira Angelim é uma espécie considerada “Hardwood” e segundo Alvez, Motta e Oliveira (2009) a densidade é de 0,81 g/cm³.

Para auxiliar no levantamento quantitativo da madeira na estrutura, a Figura 21 foi utilizada como base para nomear as peças da tesoura (números em amarelo) e o Quadro 1 mostra o perfil, comprimento e massa de cada parte da estrutura da treliça.

Figura 21 - Esquema de numeração para peças da tesoura.



Fonte: Autoria própria (2022).

Quadro 1 - Quantitativo de peças de madeira para Tesoura.

PEÇAS DE MADEIRA				
Barra	Seção [cm]	Comprimento [cm]	Massa [kg]	Total por material [kg]
1-2	6x16	380	29,54	808,52
2-3	6x16	380	29,54	
1-3	6x12	765	44,61	
6-5	2,5x10 ¹	70	2,83	
11-12	2,5x10 ¹	70	2,83	
6-7	6x12	140	8,16	
9-12	6x12	140	8,16	
7-8	2,5x10 ¹	110	4,45	
9-10	2,5x10 ¹	110	4,45	
4-8	6x12	110	6,41	
4-10	2,5x10	110	2,22	
	6x12	110	6,41	

2-4	2,5x10	110	2,22	
	6x16	126	9,79	

¹ Peças duplas, duas barras de mesma seção.

Fonte: Autoria própria (2022).

Na tesoura ainda foram utilizados parafusos de aço para fixar as barras de madeira e duas chapas de ferro localizadas no ponto 2 e 4 da Figura 21. Para os parafusos não foi possível determinar o peso exato de cada peça, assim estimou-se os valores descritos no Quadro 2. Para a barra chata de ferro, utilizou-se a tabela de peso nominal da fabricante (GERDAU, 2019), que disponibiliza o peso nominal em kg/m para a barra de acordo com sua espessura e largura, com esses valores multiplicou-se pela metragem da peça necessária obtendo o peso da barra chata. O Quadro 2 apresenta a lista de peças com as dimensões e a massa por peça e por tipo de material.

Quadro 2 - Quantificação de acessórios para tesoura.

ACESSÓRIOS					
Peça	Dimensão [cm e pol]	Quantidade [un]	Massa [kg]	Material	Total por material [kg]
Barra chata 1	5x0,6	2	1,52	Ferro	17,08
Barra chata 2	5x0,6	1	1,90		
Parafuso	∅ 3/8"	3	0,03	Aço	1,35
Parafuso	∅ 1/2"	6	0,05		
Parafuso francês	∅ 5/8"	16	0,19		

Fonte: Autoria própria (2022).

Como mencionado no tópico 3.1, a estrutura da tesoura é igual para todos os tipos de telhados estudados. Considerando a área total da residência, serão necessárias cinco tesouras, espaçadas em 2 metros, por isso a massa total nas tabelas está multiplicada por cinco, obtendo o resultado total das tesouras para essa residência.

Para obtenção dos dados dos demais materiais, utilizou-se manuais e recomendações dos fabricantes das telhas. Assim, constatou-se que a telha de concreto e cerâmica possuem a mesma trama, a telha PET também necessita de uma trama, porém o espaçamento da ripa é maior, diminuindo a quantidade de material necessário. A telha Tetra Pak, entretanto, é sustentada apenas por ripas. Para essas

peças também se utilizou madeira Angelim e pela dificuldade em quantificar os pregos, não se levou em consideração esse material.

Para as telhas e cumeeira encontrou-se em sites de vendedores e em manuais de fabricantes o rendimento da telha e o peso em quilograma, o que permitiu calcular a quantidade de telhas necessárias, assim como o peso total. Apenas para a Cumeeira reciclada PET não foi encontrado um valor na literatura, assim adotou-se valores próximos aos valores da cumeeira de Tetra Pak, devido as telhas de ambas serem semelhantes em dimensão e peso. Para todas as telhas e cumeeiras onde foi estimado o rendimento de telha, considerou-se uma margem de segurança de 10% devido a possíveis quebras, danificações e pedaços que precisam ser cortados para se adequar às dimensões da residência. O Quadro 3 apresenta o rendimento e o peso de cada telha e cumeeira.

Quadro 3 - Peso e rendimento das telhas e cumeeiras.

Telhas	Peso [kg]	Rendimento [telha/m²]	Fonte
Cerâmica	2,3	15	CERÂMICA SILVA (2022b)
Concreto	4,7	10,5	ARTPLAN [2018?]
Tetra Pak	12	0,59	ECOPEX (2021)
PET	13	0,64	Adaptado de CASA DA TELHA [2022?]
Cumeeira	Peso [kg]	Rendimento [peça/m]	Fonte
Cerâmica	1,2	3	CERÂMICA SILVA (2022a)
Concreto	3,7	3	PINEZI [2022?]
Tetra Pak	3,6	0,85	LEROY MERLIN (2022a)
PET	3,7	0,8	-

Fonte: Aatoria própria (2022).

O Quadro 4 apresenta o quantitativo das peças para o telhado de cada tipo de telha, considerando que todos terão a mesma base de tesouras, como descrito nos Quadro 1 e Quadro 2. As telhas de cerâmica e concreto não necessitam de pregos ou parafusos para prendê-las à estrutura, porém as telhas sustentáveis necessitam de pregos e parafusos telheiros que foram estimados, por não haver a informação precisa na literatura.

Quadro 4 - Quantitativo de materiais específicos por tipo de telhado.

TELHADO DE CERÂMICA					
Peça	Dimensão [cm]	Quantidade [un ou cm]	Massa [kg]	Material	Massa total [kg]
Telha cerâmica	41x22x1,3	1264	2907,20	Cerâmica	2945,60
Cumeeira	42x19,5x1,4	32	38,40		
Ripa	5x2	30080	243,65	Madeira	1041,08
Caibro	5x6	17024	413,68		
Terça	6x12	6580	383,75		
TELHADO DE CONCRETO					
Peça	Dimensão [cm]	Quantidade [un ou cm]	Massa [kg]	Material	Massa total [kg]
Telha concreto	42x33x1,2	885	4159,50	Concreto	4277,90
Cumeeira	41x23x1,2	32	118,40		
Ripa	5x2	30080	243,65	Madeira	1041,08
Caibro	5x6	17024	413,68		
Terça	6x12	6580	383,75		
TELHADO DE TETRA PAK					
Peça	Dimensão [cm]	Quantidade [un ou cm]	Massa [kg]	Material	Massa total [kg]
Telha Tetra Pak	220x95x0,6	50	600,00	Tetra Pak reciclada	632,4
Cumeeira metalizada	95x55x0,6	9	32,40		
Terça	6x12	10340	603,03	Madeira	603,03
Parafuso Telheiro	5/16x110	336	6,72	Aço	6,72
TELHADO DE PET RECICLADO					
Peça	Dimensão [cm]	Quantidade [un ou cm]	Massa [kg]	Material	Massa total [kg]
Telha PET	244x88x0,5	60	780,00	PET reciclado	813,30
Cumeeira	-	9	33,30		
Terça	6x12	6580	383,75	Madeira	964,94
Caibro	5x6	17024	413,68		
Ripas	5x2	20680	167,51		
Prego telheiro	18x27	516	5,16	Aço	5,16

Fonte: Autoria própria (2022).

Assim, o Quadro 5 apresenta a massa de cada peça utilizada, por tipo de telhado, e a massa total a ser disposta na cobertura da residência. Estas informações serviram como dados de entrada no programa de análise de ciclo de vida.

Quadro 5 - Resumo da massa por tipo de material para cada telhado.

QUADRO RESUMO			
Telhado	Material	Massa [kg]	Massa total [kg]
Cerâmica	Cerâmica	2945,60	4813,63
	Madeira	1849,60	
	Aço	1,35	
	Ferro	17,08	
Concreto	Concreto	4277,90	6145,93
	Madeira	1849,60	
	Aço	1,35	
	Ferro	17,08	
Tetra Pak	Tetra Pak reciclado	632,40	2069,10
	Madeira	1411,55	
	Aço	8,07	
	Ferro	17,08	
PET	PET reciclado	813,30	2610,35
	Madeira	1773,46	
	Aço	6,51	
	Ferro	17,08	

Fonte: Autoria própria (2022).

Para o transporte dos materiais da loja até o local da implantação do telhado, considerou-se um trajeto de 1000 metros. Esta distância foi obtida de forma aproximada entre uma loja de materiais de construção até o local de construção da residência. O percurso foi feito por caminhão e considerou-se o mesmo para os quatro tipos de telhado.

As ferramentas utilizadas para instalação do telhado não foram contabilizadas na análise, por serem materiais que serão utilizados em outras obras ao longo de seu ciclo, não gerando um impacto relevante comparado aos processos e materiais descritos até então.

Para a realização da modelagem do inventário, foi utilizada a base de dados ecoinvent.

3.2.3 Avaliação de impacto

As análises foram realizadas no Software SimaPro, com a metodologia ReCiPe. Segundo ACV Brasil [2022?], este software é um dos mais utilizados para ACV, sendo uma ferramenta para coleta de dados e análise de desempenho

ambiental. O mesmo autor ressalta que o programa possui mais de vinte métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida e dezenas de milhares de informações sobre processos e produtos.

A metodologia ReCiPe possui 16 categorias de *midpoint* associadas a 3 categorias *endpoint*. Das categorias de *midpoint*, selecionou-se sete para analisar neste trabalho, são elas: Mudanças climáticas, Formação de material particulado, Depleção de recursos fósseis, Depleção de recursos minerais, Ecotoxicidade marinha, Eutrofização de água doce e Uso e transformação do solo.

A categoria de mudanças climáticas está relacionada ao potencial de aquecimento global, quantificado pela geração de gases de efeito estufa. A formação de partículas finas está relacionada com a ingestão desses materiais, causando efeitos danosos ao ser humano. A depleção de recursos fósseis envolve o potencial combustível do material e a depleção de recursos minerais envolve a diminuição do recurso mineral global, ou seja, a escassez destas matérias. A eutrofização relaciona-se a quantidade de fósforo disposto na água doce, já a ecotoxicidade marinha com as emissões químicas no mar. O uso e transformação do solo relaciona-se a perda de biodiversidade numa determinada área e em um período de tempo (HUIJBREGTS et al., 2017).

Das categorias analisadas, a de mudanças climáticas possui uma abrangência global e seus impactos podem ser provenientes de diversas fases da produção como por exemplo na queima do material, na fonte energética utilizada, pelo transporte, mostrando a importância de analisá-la. A depleção de recursos fósseis e mineiras foi selecionada novamente devido a fonte de energia utilizada na produção e a matéria prima.

Devido algumas matérias primas utilizadas, optou-se por analisar o uso e transformação do solo, de for a verificar se a extração dos recursos haveria implicações nessa categoria. Por algumas telhas possuírem polímeros e alumínio optou-se por analisar a ecotoxicidade marinha, podendo apresentar maiores impactos potenciais nos materiais que possuem esses elementos na composição.

No processo produtivo de indústrias é comum a formação de material particulado, além disso, pode haver despejos industriais em rios, causando a eutrofização da água doce, as duas categorias também contempladas no estudo.

4 RESULTADOS

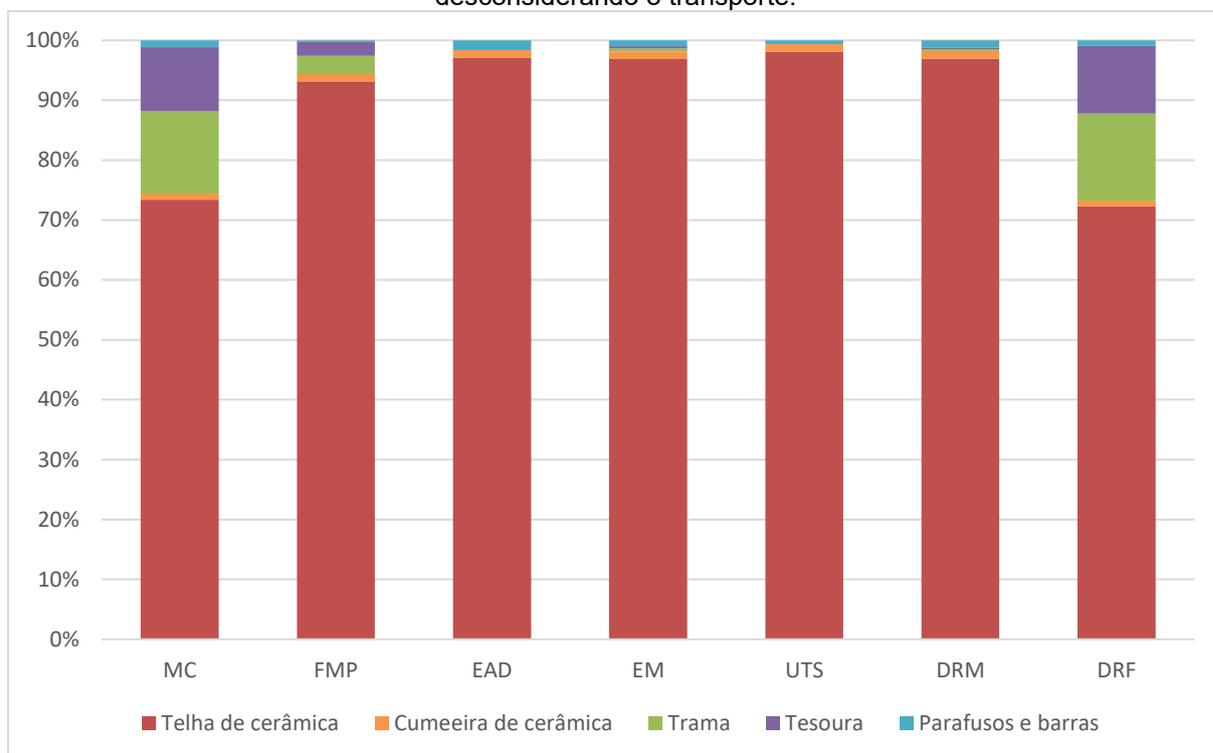
A seguir serão apresentados os resultados obtidos pelo software SimaPro dos quatro tipos de telhado, de acordo com as categorias selecionadas para avaliação. Os resultados por tipo de telhado apresentam as emissões, por categoria de impacto, de cada parte do telhado e por tipo de material. Embora haja emissões e geração de resíduos durante a construção da casa e do telhado, elas não foram contabilizadas na análise devido à falta de tais informações.

4.1 RESULTADOS DO TELHADO DE CERÂMICA

A Figura 22 apresenta os resultados de emissões para o telhado de cerâmica, desconsiderando a contribuição do transporte. O gráfico contabiliza a porcentagem de contribuição de cada parte do telhado para o todo.

A Tabela 1 apresenta os valores quantitativos calculados pelo programa e a porcentagem relativa à contribuição dos impactos na categoria, desconsiderando os impactos do transporte. A Tabela 2 traz os mesmos valores quantitativos, porém considerando o transporte e, assim, alterando a contribuição em porcentagem de cada material.

Figura 22 - Contribuição relativa das partes do telhado de cerâmica por categoria de impacto, desconsiderando o transporte.



Nota: **MC**: Mudanças climáticas (kg CO₂ eq); **FMP**: Formação de Material Particulado (kg PM_{2.5} eq); **EAD**: Eutrofização da Água Doce (kg P eq); **EM**: Ecotoxicidade Marinha (kg 1,4-DCB); **UTS**: Uso e Transformação do Solo (m²a crop eq); **DRM**: Depleção de Recursos Minerais (kg Cu eq); **DRF**: Depleção de Recursos fósseis (kg oil eq).

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

Tabela 1 - Contribuição das partes do telhado de cerâmica por categoria de impacto desconsiderando o transporte.

Parte do telhado	Categoria de impacto													
	Mudanças climáticas		Formação de material particulado		Eutrofização da água doce		Ecotoxicidade marinha		Uso e transformação do solo		Depleção de recursos minerais		Depleção de recursos fósseis	
	[kg CO2 eq]		[kg PM2.5 eq]		[kg P eq]		[kg 1,4-DCB]		[m2a crop eq]		[kg Cu eq]		[kg oil eq]	
Telha de cerâmica	2173,57	73,4%	28,88	93,1%	0,75	97,1%	271,87	96,8%	125,17	98,1%	92,18	96,9%	627,72	72,3%
Cumeeira de cerâmica	28,71	1,0%	0,38	1,2%	0,01	1,3%	3,59	1,3%	1,65	1,3%	1,22	1,3%	8,29	0,9%
Trama	408,20	13,8%	0,95	3,1%	0,00	0,0%	1,34	0,5%	0,00	0,0%	0,33	0,3%	126,56	14,6%
Tesoura	317,06	10,7%	0,74	2,4%	0,00	0,0%	1,04	0,4%	0,00	0,0%	0,26	0,3%	98,30	11,3%
Parafusos e barras	33,26	1,1%	0,06	0,2%	0,01	1,6%	2,80	1,0%	0,74	0,6%	1,11	1,2%	7,93	0,9%
Total	2960,80	100,0%	31,01	100,0%	0,77	100,0%	280,64	100,0%	127,56	100,0%	95,10	100,0%	868,80	100,0%

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

Tabela 2 - Contribuição das partes do telhado de cerâmica por categoria de impacto, considerando o transporte.

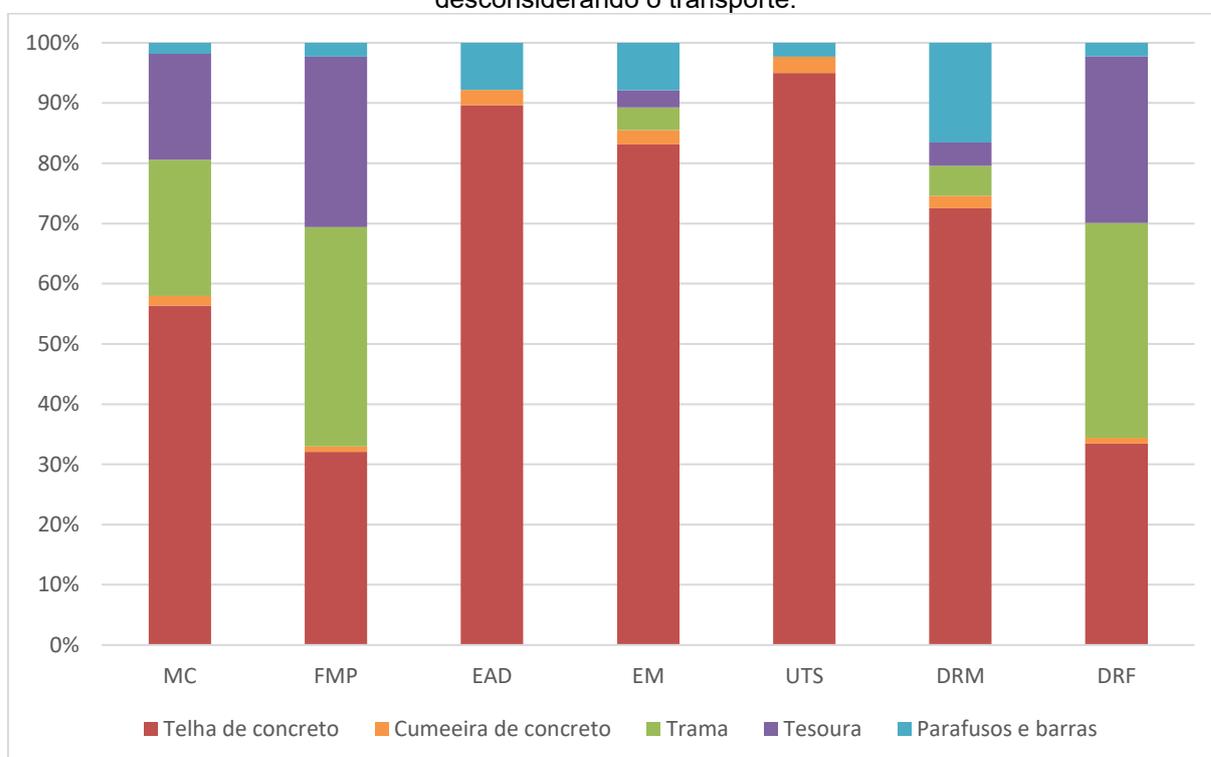
Parte do telhado	Categoria de impacto													
	Mudanças climáticas		Formação de material particulado		Eutrofização da água doce		Ecotoxicidade marinha		Uso e transformação do solo		Depleção de recursos minerais		Depleção de recursos fósseis	
	[kg CO2 eq]		[kg PM2.5 eq]		[kg P eq]		[kg 1,4-DCB]		[m2a crop eq]		[kg Cu eq]		[kg oil eq]	
Telha de cerâmica	2173,57	73,4%	28,88	93,1%	0,75	97,1%	271,87	96,8%	125,17	98,1%	92,18	96,9%	627,72	72,2%
Cumeeira de cerâmica	28,71	1,0%	0,38	1,2%	0,01	1,3%	3,59	1,3%	1,65	1,3%	1,22	1,3%	8,29	0,9%
Trama	408,20	13,8%	0,95	3,1%	0,00	0,0%	1,34	0,5%	0,00	0,0%	0,33	0,3%	126,56	14,6%
Tesoura	317,06	10,7%	0,74	2,4%	0,00	0,0%	1,04	0,4%	0,00	0,0%	0,26	0,3%	98,30	11,3%
Parafusos e barras	33,26	1,1%	0,06	0,2%	0,01	1,6%	2,80	1,0%	0,74	0,6%	1,11	1,2%	7,93	0,9%
Transporte	1,48	<0,1%	<0,01	<0,01%	<0,01	<0,01%	0,07	<0,01%	0,04	<0,01%	<0,01	<0,01%	0,50	0,1%
Total	2962,28	100,0%	31,01	100,0%	0,77	100,0%	280,71	100,0%	127,60	100,0%	95,10	100,0%	869,30	100,0%

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

4.2 RESULTADOS DO TELHADO DE CONCRETO

Assim como no telhado de cerâmica, a Figura 23 contém o gráfico com a contribuição de impactos percentuais de cada parte do telhado, de acordo com a categoria de impacto, desconsiderando a contribuição do transporte. Na Tabela 3 e na Tabela 4 tem-se os valores qualitativos e percentuais relativos ao total, a primeira desconsiderando a contribuição do transporte e a segunda considerando esses impactos.

Figura 23 - Contribuição relativa das partes do telhado de concreto por categoria de impacto, desconsiderando o transporte.



Nota: **MC**: Mudanças climáticas (kg CO₂ eq); **FMP**: Formação de Material Particulado (kg PM_{2.5} eq); **EAD**: Eutrofização da Água Doce (kg P eq); **EM**: Ecotoxicidade Marinha (kg 1,4-DCB); **UTS**: Uso e Transformação do Solo (m²a crop eq); **DRM**: Depleção de Recursos Minerais (kg Cu eq); **DRF**: Depleção de Recursos fósseis (kg oil eq).

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

Tabela 3 - Contribuição das partes do telhado de concreto por categoria de impacto desconsiderando o transporte.

Parte do telhado	Categoria de impacto													
	Mudanças climáticas		Formação de material particulado		Eutrofização da água doce		Ecotoxicidade marinha		Uso e transformação do solo		Depleção de recursos minerais		Depleção de recursos fósseis	
	[kg CO2 eq]		[kg PM2.5 eq]		[kg P eq]		[kg 1,4-DCB]		[m2a crop eq]		[kg Cu eq]		[kg oil eq]	
Telha de concreto	1017,26	56,4%	0,83	32,1%	0,14	89,6%	29,67	83,1%	30,35	95,0%	4,86	72,5%	118,76	33,5%
Cumeeira de concreto	28,96	1,6%	0,02	0,9%	<0,01	2,6%	0,84	2,4%	0,86	2,7%	0,14	2,0%	3,38	1,0%
Trama	408,20	22,6%	0,95	36,4%	0,00	0,0%	1,34	3,8%	0,00	0,0%	0,33	5,0%	126,56	35,6%
Tesoura	317,06	17,6%	0,74	28,3%	0,00	0,0%	1,04	2,9%	0,00	0,0%	0,26	3,9%	98,30	27,7%
Parafusos e barras	33,26	1,8%	0,06	2,3%	0,01	7,8%	2,80	7,8%	0,74	2,3%	1,11	16,6%	7,93	2,2%
Total	1804,74	100,0%	2,60	100,0%	0,15	100,0%	35,69	100,0%	31,95	100,0%	6,70	100,0%	354,93	100,0%

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

Tabela 4 - Contribuição das partes do telhado de concreto por categoria de impacto, considerando o transporte.

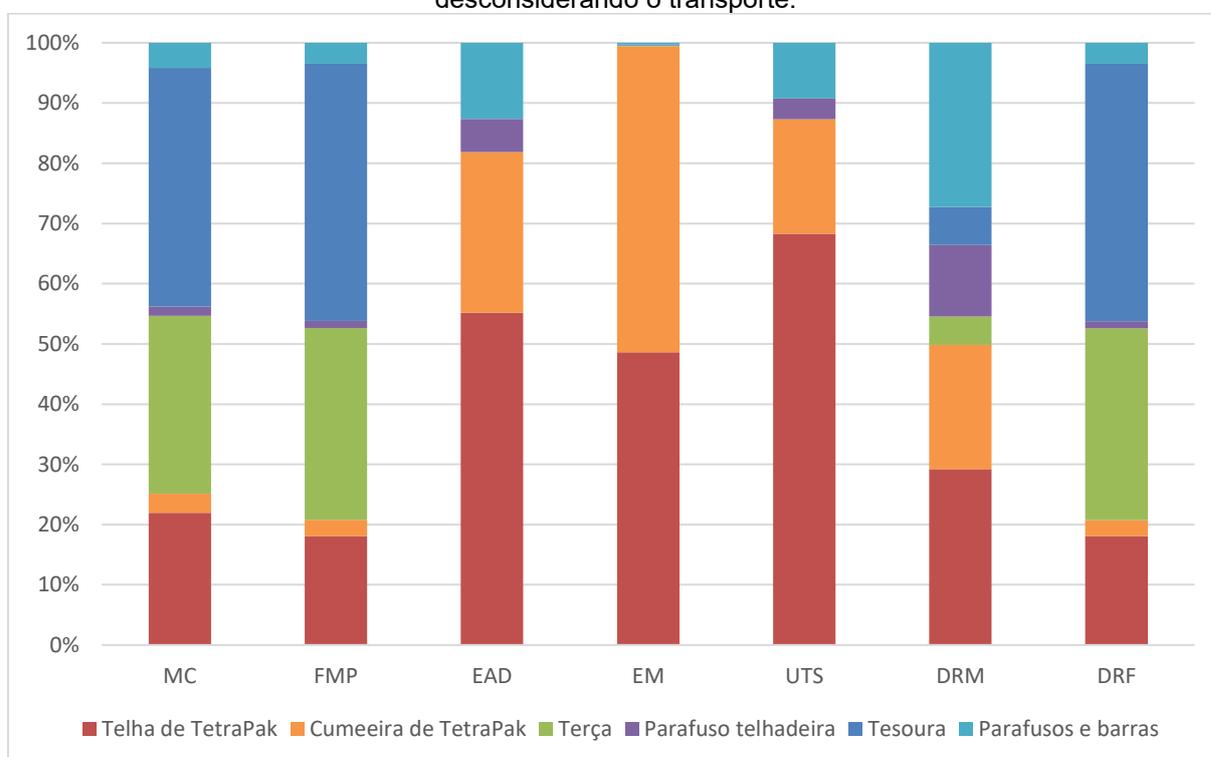
Parte do telhado	Categoria de impacto													
	Mudanças climáticas		Formação de material particulado		Eutrofização da água doce		Ecotoxicidade marinha		Uso e transformação do solo		Depleção de recursos minerais		Depleção de recursos fósseis	
	[kg CO2 eq]		[kg PM2.5 eq]		[kg P eq]		[kg 1,4-DCB]		[m2a crop eq]		[kg Cu eq]		[kg oil eq]	
Telha de concreto	1017,26	56,3%	0,83	32,0%	0,14	89,5%	29,67	82,9%	30,35	94,8%	4,86	72,5%	118,76	33,4%
Cumeeira de concreto	28,96	1,6%	0,02	0,9%	<0,01	2,6%	0,84	2,4%	0,86	2,7%	0,14	2,0%	3,38	1,0%
Trama	408,20	22,6%	0,95	36,4%	0,00	0,0%	1,34	3,7%	0,00	0,0%	0,33	5,0%	126,56	35,6%
Tesoura	317,06	17,6%	0,74	28,3%	0,00	0,0%	1,04	2,9%	0,00	0,0%	0,26	3,8%	98,30	27,6%
Parafusos e barras	33,26	1,8%	0,06	2,3%	0,01	7,8%	2,80	7,8%	0,74	2,3%	1,11	16,6%	7,93	2,2%
Transporte	2,11	0,1%	<0,01	0,1%	<0,01	0,1%	0,10	0,3%	0,06	0,2%	0,01	0,1%	0,71	0,2%
Total	1806,85	100,0%	2,60	100,0%	0,15	100,0%	35,79	100,0%	32,01	100,0%	6,71	100,0%	355,64	100,0%

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

4.3 RESULTADOS DO TELHADO DE TETRA PAK

O resultado dos potenciais impactos obtidos para o telhado de Tetra Pak encontra-se na Figura 24 e na Tabela 5, que contém os valores numéricos obtidos e a percentagem representativa de cada parte do telhado, desconsiderando o transporte. A Tabela 6 possui as mesmas informações que a Tabela 5, porém considerando os impactos do transporte.

Figura 24 - Contribuição relativa das partes do telhado de Tetra Pak por categoria de impacto, desconsiderando o transporte.



Nota: **MC**: Mudanças climáticas (kg CO₂ eq); **FMP**: Formação de Material Particulado (kg PM_{2.5} eq); **EAD**: Eutrofização da Água Doce (kg P eq); **EM**: Ecotoxicidade Marinha (kg 1,4-DCB); **UTS**: Uso e Transformação do Solo (m²a crop eq); **DRM**: Depleção de Recursos Minerais (kg Cu eq); **DRF**: Depleção de Recursos fósseis (kg oil eq).

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

Tabela 5 - Contribuição das partes do telhado de Tetra Pak por categoria de impacto desconsiderando o transporte.

Parte do telhado	Categoria de impacto													
	Mudanças climáticas		Formação de material particulado		Eutrofização da água doce		Ecotoxicidade marinha		Uso e transformação do solo		Depleção de recursos minerais		Depleção de recursos fósseis	
	[kg CO2 eq]		[kg PM2.5 eq]		[kg P eq]		[kg 1,4-DCB]		[m2a crop eq]		[kg Cu eq]		[kg oil eq]	
Telha de Tetra Pak	175,54	21,9%	0,31	18,1%	0,05	55,2%	461,71	48,6%	5,48	68,3%	1,19	29,2%	41,54	18,1%
Cumeeira Metalizada	25,37	3,2%	0,05	2,7%	0,03	26,7%	482,01	50,8%	1,53	19,1%	0,84	20,6%	6,05	2,6%
Trama	236,44	29,6%	0,55	31,9%	0,00	0,0%	0,77	0,1%	0,00	0,0%	0,19	4,7%	73,31	31,9%
Prego telheiro	12,18	1,5%	0,02	1,1%	0,01	5,5%	1,02	0,1%	0,27	3,4%	0,48	11,8%	2,62	1,1%
Tesoura	317,06	39,6%	0,74	42,8%	0,00	0,0%	1,04	0,1%	0,00	0,0%	0,26	6,4%	98,30	42,8%
Parafusos e barras	33,26	4,2%	0,06	3,4%	0,01	12,6%	2,80	0,3%	0,74	9,2%	1,11	27,3%	7,93	3,5%
Total	799,85	100,0%	1,73	100,0%	0,10	100,0%	949,35	100,0%	8,02	100,0%	4,07	100,0%	229,75	100,0%

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022)

Tabela 6 - Contribuição das partes do telhado de Tetra Pak por categoria de impacto, considerando o transporte.

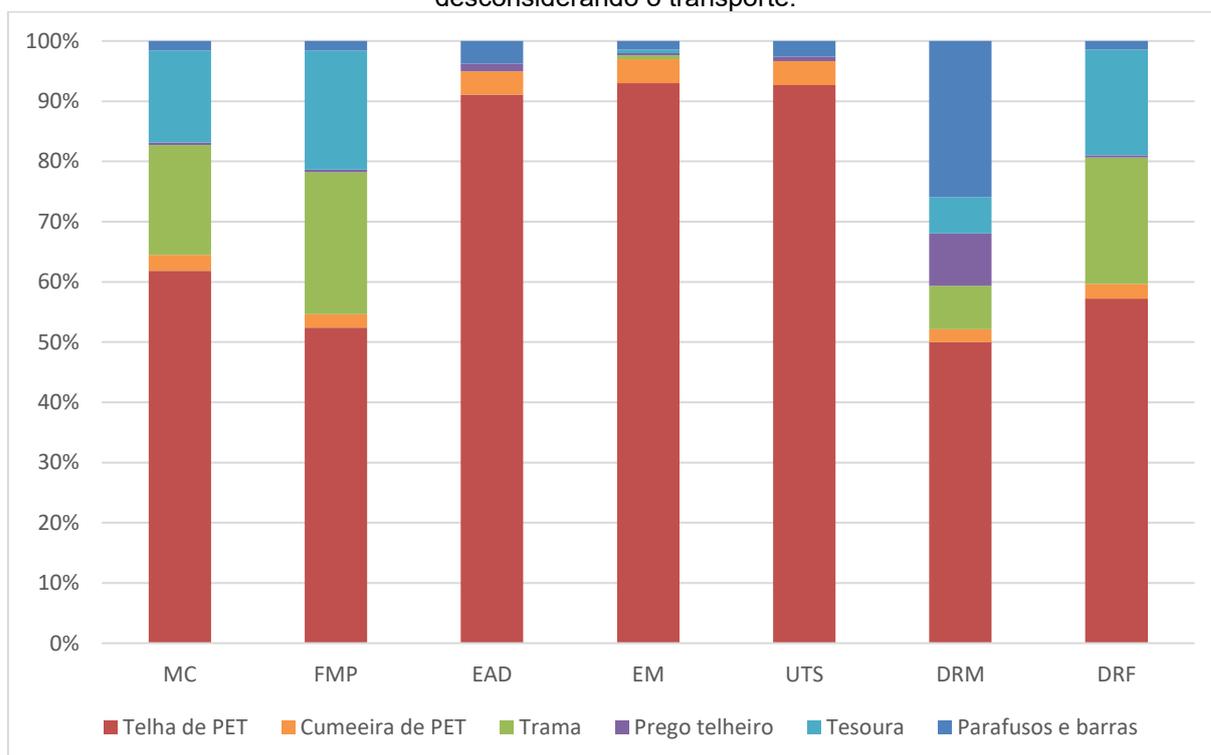
Parte do telhado	Categoria de impacto													
	Mudanças climáticas		Formação de material particulado		Eutrofização da água doce		Ecotoxicidade marinha		Uso e transformação do solo		Depleção de recursos minerais		Depleção de recursos fósseis	
	[kg CO2 eq]		[kg PM2.5 eq]		[kg P eq]		[kg 1,4-DCB]		[m2a crop eq]		[kg Cu eq]		[kg oil eq]	
Telha de Tetra Pak	175,54	21,9%	0,31	18,0%	0,05	55,1%	461,71	48,6%	5,48	68,0%	1,19	29,2%	41,54	18,1%
Cumeeira Metalizada	25,37	3,2%	0,05	2,7%	0,03	26,6%	482,01	50,8%	1,53	19,0%	0,84	20,6%	6,05	2,6%
Trama	236,44	29,5%	0,55	31,9%	0,00	0,0%	0,77	0,1%	0,00	0,0%	0,19	4,7%	73,31	31,9%
Prego telheiro	12,18	1,5%	0,02	1,2%	0,01	5,5%	1,02	0,1%	0,27	3,4%	0,48	11,8%	2,62	1,1%
Tesoura	317,06	39,6%	0,74	42,7%	0,00	0,0%	1,04	0,1%	0,00	0,0%	0,26	6,4%	98,30	42,7%
Parafusos e barras	33,26	4,2%	0,06	3,4%	0,01	12,6%	2,80	0,3%	0,74	9,2%	1,11	27,2%	7,93	3,4%
Transporte	1,15	0,1%	<0,01	0,1%	<0,01	0,2%	0,12	<0,01%	0,03	0,4%	<0,01	0,1%	0,38	0,2%
Total	801,00	100,0%	1,73	100,0%	0,10	100,0%	949,47	100,0%	8,05	100,0%	4,07	100,0%	230,13	100,0%

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

4.4 RESULTADO DO TELHADO DE PET

A Figura 25 contém o gráfico com a quantificação relativa dos impactos do telhado PET e a Tabela 7 apresenta os valores quantitativos e percentuais, ambos desconsideraram o impacto do transporte. A Tabela 8 possui o quantitativo considerando os impactos do transporte.

Figura 25 - Contribuição relativa das partes do telhado de PET por categoria de impacto, desconsiderando o transporte.



Nota: **MC**: Mudanças climáticas (kg CO₂ eq); **FMP**: Formação de Material Particulado (kg PM_{2.5} eq); **EAD**: Eutrofização da Água Doce (kg P eq); **EM**: Ecotoxicidade Marinha (kg 1,4-DCB); **UTS**: Uso e Transformação do Solo (m²a crop eq); **DRM**: Depleção de Recursos Minerais (kg Cu eq); **DRF**: Depleção de Recursos fósseis (kg oil eq).

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

Tabela 7 - Contribuição das partes do telhado de PET por categoria de impacto desconsiderando o transporte.

Parte do telhado	Categoria de impacto													
	Mudanças climáticas		Formação de material particulado		Eutrofização da água doce		Ecotoxicidade marinha		Uso e transformação do solo		Depleção de recursos minerais		Depleção de recursos fósseis	
	[kg CO2 eq]		[kg PM2.5 eq]		[kg P eq]		[kg 1,4-DCB]		[m2a crop eq]		[kg Cu eq]		[kg oil eq]	
Telha de PET	1285,64	61,9%	1,95	52,4%	0,30	91,1%	179,06	93,0%	26,25	92,7%	2,14	50,0%	320,08	57,2%
Cumeeira de PET	54,89	2,6%	0,08	2,2%	0,01	3,9%	7,64	4,0%	1,12	4,0%	0,09	2,1%	13,67	2,4%
Trama	378,34	18,2%	0,88	23,6%	0,00	0,0%	1,24	0,6%	0,00	0,0%	0,31	7,2%	117,30	21,0%
Prego telheiro	9,35	0,4%	0,02	0,4%	<0,01	1,3%	0,78	0,4%	0,21	0,7%	0,37	8,7%	2,02	0,4%
Tesoura	317,06	15,3%	0,74	19,8%	0,00	0,0%	1,04	0,5%	0,00	0,0%	0,26	6,1%	98,30	17,6%
Parafusos e barras	33,22	1,6%	0,06	1,6%	0,01	3,7%	2,79	1,5%	0,74	2,6%	1,11	25,9%	7,93	1,4%
Total	2078,50	100,0%	3,73	100,0%	0,32	100,0%	192,55	100,0%	28,32	100,0%	4,28	100,0%	559,30	100,0%

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

Tabela 8 - Contribuição das partes do telhado de PET por categoria de impacto, considerando o transporte.

Parte do telhado	Categoria de impacto													
	Mudanças climáticas		Formação de material particulado		Eutrofização da água doce		Ecotoxicidade marinha		Uso e transformação do solo		Depleção de recursos minerais		Depleção de recursos fósseis	
	[kg CO2 eq]		[kg PM2.5 eq]		[kg P eq]		[kg 1,4-DCB]		[m2a crop eq]		[kg Cu eq]		[kg oil eq]	
Telha de PET	1285,64	61,8%	1,95	52,3%	0,30	91,0%	179,06	92,9%	26,25	92,6%	2,14	50,0%	320,08	57,2%
Cumeeira de PET	54,89	2,6%	0,08	2,2%	0,01	3,9%	7,64	4,0%	1,12	4,0%	0,09	2,1%	13,67	2,4%
Trama	378,34	18,2%	0,88	23,6%	0,00	0,0%	1,24	0,6%	0,00	0,0%	0,31	7,2%	117,30	20,9%
Prego telheiro	9,35	0,5%	0,02	0,4%	<0,01	1,3%	0,78	0,4%	0,21	0,7%	0,37	8,7%	2,02	0,4%
Tesoura	317,06	15,2%	0,74	19,8%	0,00	0,0%	1,04	0,5%	0,00	0,0%	0,26	6,0%	98,30	17,6%
Parafusos e barras	33,22	1,6%	0,06	1,6%	0,01	3,7%	2,79	1,5%	0,74	2,6%	1,11	25,9%	7,93	1,4%
Transporte	1,50	0,1%	<0,01	0,1%	<0,01	0,1%	0,15	0,1%	0,04	0,1%	0,01	0,1%	0,49	0,1%
Total	2080,00	100,0%	3,73	100,0%	0,32	100,0%	192,70	100,0%	28,36	100,0%	4,29	100,0%	559,79	100,0%

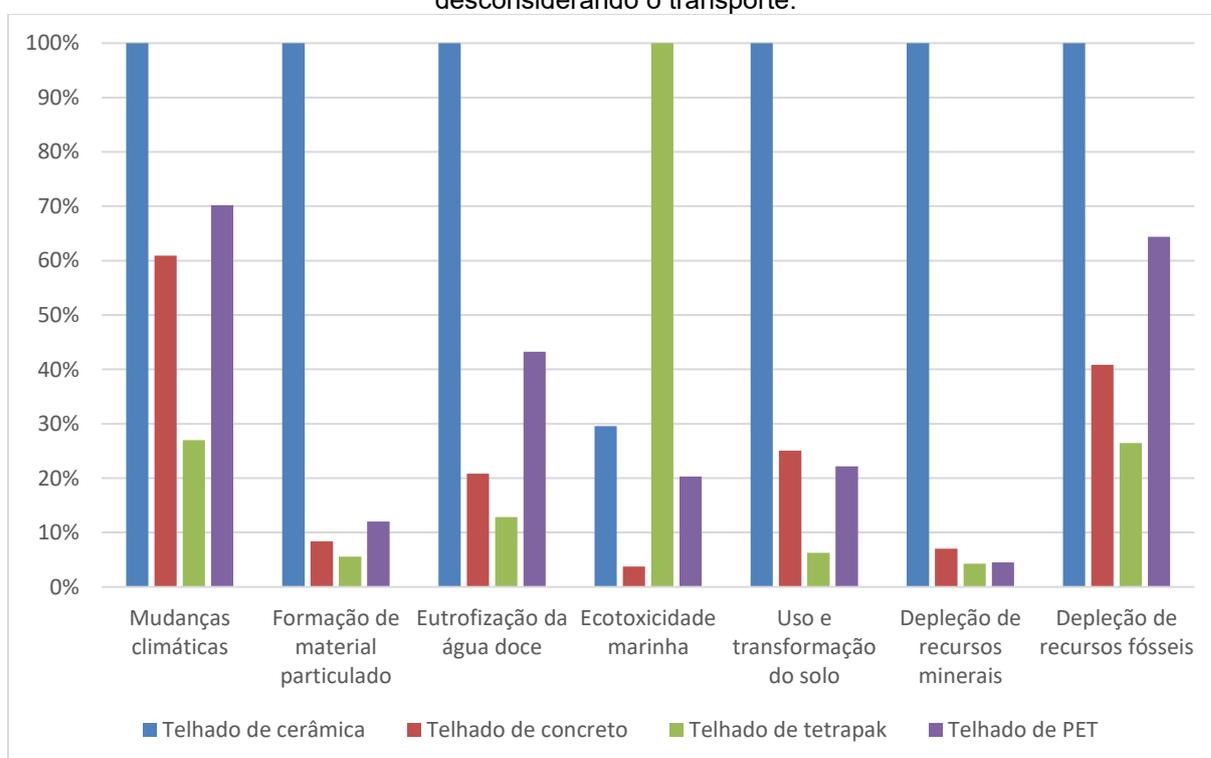
Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

4.5 COMPARAÇÃO DOS TIPOS DE TELHADO

A partir dos resultados individuais dos telhados, pode-se chegar em um total de impactos por tipo de telhado, para cada categoria. Devido aos impactos derivados do transporte das telhas da loja até o local de construção da residência ser baixo, esse processo não foi incluído nas análises comparativas.

Assim, elaborou-se o gráfico da Figura 26, mostrando comparativamente os potenciais impactos de cada tipo de telhado por categoria de impacto. Os valores numéricos deste gráfico, encontram-se na Tabela 9.

Figura 26 - Comparação dos potenciais impactos por tipo de telhado para cada categoria, desconsiderando o transporte.



Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

Tabela 9 - Contribuição por tipo de telhado para cada categoria de impacto, desconsiderando o transporte.

Parte do telhado	Categoria de impacto													
	Mudanças climáticas		Formação de material particulado		Eutrofização da água doce		Ecotoxicidade marinha		Uso e transformação do solo		Depleção de recursos minerais		Depleção de recursos fósseis	
	[kg CO2 eq]		[kg PM2.5 eq]		[kg P eq]		[kg 1,4-DCB]		[m2a crop eq]		[kg Cu eq]		[kg oil eq]	
Telhado de cerâmica	2960,79	100,0%	31,01	100,0%	0,77	100,0%	280,63	29,6%	127,57	100,0%	95,10	100,0%	868,81	100,0%
Telhado de concreto	1804,73	61,0%	2,60	8,4%	0,16	20,8%	35,69	3,8%	31,95	25,0%	6,70	7,0%	354,93	40,9%
Telhado de Tetra Pak	799,85	27,0%	1,72	5,6%	0,10	12,9%	949,35	100,0%	8,02	6,3%	4,07	4,3%	229,75	26,4%
Telhado de PET	2078,50	70,2%	3,72	12,0%	0,33	43,2%	192,56	20,3%	28,32	22,2%	4,28	4,5%	559,29	64,4%

Nota: Os percentuais são relativos ao telhado de máximo impacto na categoria analisada.

Fonte: Resultados do SimaPro 9.3.0.3 adaptados (2022).

5 DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DOS TELHADOS

Ao analisar o gráfico comparativo dos resultados do telhado de cerâmica (Figura 22), percebe-se que das diferentes partes do telhado, a telha apresentou os maiores impactos, sendo responsável por mais de 70% dos impactos em todas as categorias. Na categoria de Depleção de recursos minerais, a telha apresentou 96,9% dos impactos, resultado que corrobora com os estudos desenvolvido por ANICER (2011) que, ao analisar os diferentes estágios do ciclo de vida da telha de cerâmica, ao desconsiderar o transporte, aponta a extração de argila como os principais impactos da categoria de esgotamento de recursos.

Nos resultados do telhado de concreto, percebe-se que nas categorias de Mudanças climáticas, Eutrofização da água doce, Ecotoxicidade Marinha, Uso e transformação do solo e Depleção de recursos minerais, a telha de concreto apresentou os maiores impactos (56,4%, 89,6%, 83,1%, 95%, 72,5% respectivamente) enquanto nas categorias Formação de material particulado e Depleção de recursos fósseis a trama apresentou impactos expressivos, sendo maior do que a telha de concreto. ANICER (2011) também constatou a etapa de produção do cimento como a de maior impacto na categoria de mudanças climáticas.

Em formação de material particulado, a trama apresentou maiores impactos do que a telha de concreto, tal fato pode estar associado às informações de emissões utilizadas. O *dataset* de telha de concreto não possui informações acerca das emissões de material particulado, fator que pode influenciar nos valores obtidos. Por outro lado, as indústrias de cimento devem possuir um sistema de controle de poluentes atmosféricos para atender a legislação. Segundo o Decreto-lei nº 1.413, as indústrias instaladas em território nacional têm a obrigação de promover medidas para prevenir ou corrigir prejuízos da poluição do meio ambiente. Além disso, a Resolução CONAMA 491 de 2018 dispõe sobre a qualidade do ar, apresentando os valores máximos de emissão de material particulado para as indústrias.

Na categoria de mudanças climáticas, formação de material particulado e depleção de recursos fósseis, a tesoura apresentou os maiores impactos para o telhado de Tetra Pak, seguida da trama e da telha. Enquanto na categoria de ecotoxicidade marinha, a cumeeira metalizada representou 50,8% das emissões e a telha 48,6%, reflexo do material utilizado nessas peças, que possui alumínio reciclado, sendo na cumeeira o único material e, na telha, equivalente a 5% da massa total.

No telhado de PET, a telha apresentou as maiores emissões em todas as categorias, sendo que em três a porcentagem passou de 90%, apontando esta peça como de grande impacto.

Ao comparar os quatro tipos de telhado, o telhado de cerâmica mostra ser mais impactante em seis das sete categorias analisadas. Por ser formado principalmente de argila, na depleção de recursos minerais o telhado de cerâmica apresentou impactos cerca de 14 vezes maior do que o telhado de concreto, o segundo com maiores impactos.

Tais resultados podem ser associados a disponibilidade de informações da telha cerâmica, uma vez que o *dataset* utilizado apresentava diversas informações de emissões, ao contrário de outros materiais como telha de concreto, que apresentava limitações no próprio *dataset*.

Na avaliação de telhas sustentáveis, realizado por Schelb (2016), ao comparar as telhas de cerâmica e concreto, a telha de cerâmica mostrou-se menos sustentável do que a telha de concreto. Tal resultado assemelha-se com a conclusão desta ACV. Em contrapartida, dos resultados obtidos por ANICER (2011), percebe-se uma divergência nesta conclusão. Apesar de terem escopos diferentes, a comparação entre a telha de concreto e a de cerâmica pode ser analisada em ambos. Enquanto os resultados da ACV deste trabalho mostraram a telha de cerâmica com mais impactos do que a de concreto, ANICER (2011) concluiu o contrário. Esta divergência pode ser associada ao escopo, mas também aos diferentes inventários utilizados e a metodologia aplicada.

Ao comparar apenas os telhados de concreto e PET, percebe-se que em cinco das sete categorias, o telhado PET apresentou maiores impactos do que o telhado de concreto.

Na categoria ecotoxicidade marinha, a telha de Tetra Pak apresentou maiores impactos, sendo o segundo maior a telha cerâmica, que corresponde a aproximadamente 30% do valor da Tetra Pak. Como mencionado anteriormente, o telhado Tetra Pak possui alumínio na composição, elemento que influencia diretamente na presença de substâncias químicas nos oceanos.

Em seis das sete categorias analisadas, o telhado de Tetra Pak foi o que apresentou menos impactos potenciais, mostrando-se o telhado menos impactante entre as alternativas analisadas.

Dos resultados da análise de sensibilidade, com a inclusão do transporte das telhas da loja ao local de construção, é possível perceber a relativamente baixa influência do transporte nos impactos. Esses impactos são, principalmente, devido à queima de combustível por caminhões que fazem uso de recursos fósseis e emitem gases de efeito estufa, implicando nas categorias de mudanças climáticas e depleção de recursos fósseis. Nestas duas categorias, a maior ou menor carga (kg) transportada pelos veículos também influenciou proporcionalmente um maior ou menor impacto decorrido das atividades de transporte, sendo a telha de concreto atribuída aos maiores impactos do transporte.

5.2 IMPLICAÇÕES

Dos resultados e análises realizados, pode-se constatar que o telhado convencional de cerâmica apresenta os maiores potenciais impactos entre os telhados analisados, enquanto o telhado de Tetra Pak se mostrou o menos ambientalmente impactante. Com isso, o telhado dito sustentável contabilizou menos impactos do que as alternativas convencionais, mostrando-se uma alternativa viável de investimento para coberturas de edificações habitacionais que minimiza os impactos ambientais.

Dos resultados da comparação do telhado de concreto e telhado de PET reciclado, pode-se perceber que, de forma geral, o telhado PET, mesmo com o apelo “sustentável”, apresenta mais impactos ambientais do que o telhado de concreto. Neste sentido, reforça-se a importância da comparação de resultados e de uma metodologia adequada que possibilite analisar a sustentabilidade do material. Outro ponto relevante diz respeito a formulação de critérios para a determinação da

sustentabilidade de telhas e telhados, determinando lineares para classificar os produtos de acordo com os impactos que estes apresentam.

Ressalta-se que não existe telhados sem impactos. Todas as alternativas trazidas neste estudo apresentaram impactos em todas as categorias, por isso a comparação se torna um mecanismo para analisar a melhor opção entre as disponíveis. Nesse sentido, a ACV se mostrou uma metodologia importante, comparando os resultados e fornecendo dados quantitativos para as categorias analisadas.

Comparando os resultados dos telhados individualmente, considerando cada parte do telhado, percebe-se que na maior parte das categorias, para o telhado de cerâmica, concreto e PET a telha apresentou os principais impactos, superando os impactos da estrutura. Dessa forma, constata-se a importância da pesquisa sobre alternativas de telhas disponíveis para residências, que busquem processos e materiais que minimizem as emissões e, por consequência, os impactos.

Da análise de sensibilidade, pode-se perceber que, apesar dos impactos gerados pelo transporte serem menores do que as demais partes do telhado, a distância e o peso da carga podem influenciar no potencial de impacto ambiental. Dessa forma, lojas instaladas próximas aos canteiros de obra necessitariam de rotas mais curtas de caminhão. Sendo assim, do ponto de vista ambiental, comprar o material de produtores e revendedores locais evita maior consumo de combustível e emissão de gases de efeito estufa, assim impedindo maiores impactos ambientais.

Todos os resultados obtidos foram relevantes e permitiram analisar aspectos importantes no sistema de coberturas. Porém, houve pontos que limitaram o estudo. Os inventários dos telhados contemplaram uma parte e algumas opções de materiais, não abrangendo todas as alternativas aplicadas comercialmente. A base de dados utilizada também apresentou limitações em alguns produtos, não havendo dados de emissões atmosféricas para as telhas de concreto, por exemplo. Na avaliação de impacto foram analisadas apenas sete, das dezesseis categorias disponíveis na metodologia ReCiPe, sendo outro fator limitante. Por fim, outra limitação do estudo foi a realização da análise de sensibilidade para apenas uma distância, sendo interessante analisar alternativas com distâncias maiores a fim de obter mais resultados para analisar.

6 CONCLUSÃO

Os resultados da ACV para as quatro alternativas de telhado permitiram obter informações relevantes sobre os impactos que cada telhado causa, assim como a possibilidade de comparar as alternativas entre si. Neste ponto, a ACV mostrou-se uma metodologia eficaz e essencial para a obtenção de resultados válidos e de qualidade, que permitiram analisar o perfil ambiental dos telhados residenciais.

A pesquisa na literatura, em trabalhos já realizados e em manuais técnicos de fabricantes, permitiu dimensionar e caracterizar o sistema de cobertura para as quatro alternativas analisadas, sendo um dos objetivos específicos do trabalho. A dificuldade de encontrar informações sobre as telhas mais recentes no mercado (Tetra Pak e PET) mostraram a possibilidade de realização de pesquisas e trabalhos que busquem caracterizar essas telhas e o processo produtivo, a fim de informar como ocorre a produção, os maquinários e insumos necessários, os resíduos gerados e medidas utilizadas para prevenir impactos ambientais. Tais pesquisas podem trazer maior credibilidade para o produto.

Com base nos resultados deste trabalho, pode-se concluir que os telhados sustentáveis apresentaram menos impactos potenciais do que os telhados convencionais, sendo que o telhado de Tetra Pak foi a alternativa que apresentou os menores impactos em seis das sete categorias analisadas. O telhado que apresentou os maiores impactos foi o telhado de cerâmica, sendo o mais relevante em seis das sete categorias analisadas. Com isso, pode-se alcançar o objetivo geral do estudo, que buscava comparar os possíveis impactos ambientais de diferentes alternativas de telhados residenciais.

Como forma de ampliar as pesquisas realizadas no âmbito de telhados e construções sustentáveis, deixa-se aqui recomendações para trabalhos futuros. Para haver mais possibilidades de comparação de resultados, recomenda-se a realização da ACV em alternativas de telhados não contempladas neste trabalho, como os de fibras vegetais ou de telhados que suportam placas solares. Neste estudo, utilizou-se a mesma estrutura para os diferentes telhados, portanto, outra possibilidade seria comparar alternativas diferentes como laje de concreto, por exemplo. Baseado nos dados aqui obtidos e de outras pesquisas nessa área, outra sugestão relaciona-se a definir critérios de sustentabilidade para telhas e telhados. Devido à falta de

informações acerca das emissões e impactos causados por cada sistema de telhados, recomenda-se estudos que quantifiquem o consumo de energia, água e recursos, a fim de alimentar a base de dados, fornecendo resultados mais completos. Por fim, este trabalho contemplou o sistema de fronteiras até o ponto de instalação, outros trabalhos poderiam abranger também o período de uso e descarte final, estendendo a fronteira do sistema e analisando também a durabilidade e destino final desses materiais.

REFERÊNCIAS

ABAT, Ellen. **Orçamento – Site Ecopex**. Mensagem recebida por <ellen@ecopex.com.br > em 28 abr. 2022.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14040: **Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e estrutura**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a, 21 p.

_____. NBR ISO 14044: **Avaliação do Ciclo de Vida: requisitos e orientações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b, 46 p.

_____. NBR 15310: **Componentes Cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009c, 53 p.

_____. NBR 13858-2: **Telhas de Concreto Parte 2: requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009d, 38 p.

_____. ISO/TR 14047: **Avaliação do Ciclo de Vida – exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14044 a situações de avaliação de impacto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016, 91 p.

_____. NBR 15575-1: **Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a, 110 p.

_____. NBR 15575-5: **Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b, 92 p.

ACABAMENTOS. **Cerâmica Silva**, 2022a. Disponível em: <<https://www.csilva.com.br/telhas-acabamentos>> Acesso em: 5 jun. 2022.

ALMEIDA, Igor Santos et al. Reciclagem de garrafas PET para fabricação de telhas. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 1, n. 3, p. 83-90, 2013.

ALVES, Rejane Costa; MOTTA, Javan Pereira; OLIVEIRA, JTS. Relação entre a estrutura anatômica e algumas propriedades da madeira de angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum*, leguminosae). **XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação- Universidade do Vale do Paraíba**, 2009.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. **Análise Comparativa do Ciclo de Vida das Telhas Cerâmicas versus Telhas de Concreto**. Relatório final. Canadá, 2011.

ANTUNES, Lucas Niehuns. **Avaliação ambiental do aproveitamento de água pluvial infiltrada em um sistema de pavimento permeável em comparação com**

um sistema de drenagem convencional por meio da avaliação do ciclo de vida. Florianópolis, 2020.

ARAÚJO, Danniell Cláudio; MORAIS, C. R. S.; ALTIDES, M. E. D. Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 3, n. 2, p. 50-56, 2008.

ARAÚJO, Márcio Augusto. **A moderna construção sustentável.** IDHEA - Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica, 2008. Disponível em: <https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/01_modern_a.pdf> Acesso em: 09 mai. 2022.

ARTPLAN. **Telhas de Concreto Hidrofugadas.** [2018?] Disponível em: <<http://www.artplantelhas.com.br/wp-content/uploads/2018/04/Manual-Telha-de-Concreto.pdf>> Acesso em: 7 jun. 2022.

BARRA chata Gerdau. **Gerdau**, 2019. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/produtos/barra-chata>> Acesso em: 5 jun. 2022.

BOETTGER, Gabriela Correa; MARTINS, Peter Mendes. **Estudo comparativo entre telhas onduladas de fibrocimento e telhas onduladas ecológicas.** Unisul: Tubarão, 2018.

BRASIL. Decreto-lei Nº 1.413, de 31 de julho de 1975. Dispõem sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. **Diário Oficial da União.** Brasília: 1975.

BRUNDTLAND, G. H.; COMUM, Nosso Futuro. Relatório Brundtland. **Our Common Future:** United Nations, 1987.

BUENO, Cristiane. **Avaliação de ciclo de vida na construção civil: análise de sensibilidade.** 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CALDEIRA, Débora; SPOSTO, Rosa; CALDAS, Lucas. Avaliação do ciclo de vida energético de telha termoacústica com poliestireno expandido e telha cerâmica tipo plana em edificação unifamiliar. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 16, 2016.

CARLISLE, Stephanie; FRIEDLANDER, Elizabeth. The influence of durability and recycling on life cycle impacts of window frame assemblies. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 11, p. 1645-1657, 2016.

COLTRO, Leda et al. **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão.** Campinas: Cetea/Ital, v. 1, 2007.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na Construção Civil**. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

CUMEEIRA Ecológica Reciclada Térmica 92x56cm Cinza IbaPlac. **Leroy Merlin**, 2022a. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/cumeeira-ecologica-reciclada-termica-92x56cm-cinza-ibaplac_90329463> Acesso em: 5 jun. 2022.

CONAMA – Conselho Nacional Do Meio Ambiente. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Diário Oficial da União**: Edição 223, seção 1, p. 155. Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2018.

DE ALMEIDA, K. S.; SOARES, R. A. L.; MOURA, C. DE S. Análise dos impactos ambientais gerados pela indústria de cerâmica vermelha no Piauí. **Cerâmica Industrial**, v. 19, p. 33-34, 2014.

DE CERQUEIRA, Mario Henrique; PAK, Engenheiro de Desenvolvimento Ambiental-Tetra. PLACAS E TELHAS PRODUZIDAS A PARTIR DA RECICLAGEM DO POLIETILENO/ALUMÍNIO PRESENTES NAS EMBALAGENS TETRA PAK. **Artigos Técnicos, Tetra Pak**, 2000.

FERNANDES, Davi Gonçalves. **Desenvolvimento de telha de concreto eco-eficiente utilizando resíduo de mármore do tear de fio diamantado**. Tese de Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais – Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campo dos Goytacazes, 2017.

FERREIRA, Aylla Roberta da S. Victor et al. **Embalagens cartonadas assépticas: uma revisão sobre os métodos de reciclagem mais empregados**. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 7, p. 46336-46349, 2020.

FIGUEIREDO, Marco Antonio Gaya de; DEORSOLA, Alberto Chenú. A questão da responsabilidade socioambiental na reciclagem de plástico no Rio de Janeiro. **Production**, v. 21, p. 190-195, 2011.

FORMIGONI, Alexandre; CAMPOS, Ivan Pérsio de Arruda; PÉRSIO, I. Reciclagem de PET no Brasil. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Rio de Janeiro**, 2012.

GOEDKOP, Mark; HEIJUNGS Reinout; HUIJBREGTS, Mark; SCHRYVER, Na De; STRUIJS, Jaap; ZELM, Rosalie van. ReCiPe 2008. **A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level**, v. 1, p. 1-126, 2009.

HUIJBREGTS, Mark AJ; STEINMANN, Zoran J. N.; ELSHOUT, Pieter M. F.; STAM, Gea; VERONES, Francesca; VIEIRA, Marisa; ZIJP, Michiel; HOLLANDER, Anne; ZELM, Rosalie va. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method

at midpoint and endpoint level. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 2, p. 138-147, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Prodlist-Indústria**. Tabela 6705. 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6705>> Acesso em: 7 jun. 2022.

INOVA Recycle. Manual de instalação. **Inova Recycle**, 2022. Disponível em: <<https://www.inovarecycle.com.br/>> Acesso em: 8 jun. 2022.

JALES, Fernando Fernandes. **Utilização de embalagens Tetra Pak como material de construção**. Monografia do Curso de Ciência e Tecnologia – Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, 2013.

LEAL, Flávio Vítor Simões. **Análise de ciclo de vida da embalagem cartonada de leite**. São Paulo, 2019.

LESSA, M. L. S. **Critérios de sustentabilidade para elementos construtivos: um estudo sobre telhas" ecológicas" empregadas na construção civil**. UFBA: Bahia, 2009.

LINHA natural. **Cerâmica Silva**, 2022b. Disponível em: <<https://www.csilva.com.br/telhas-natural>> Acesso em: 5 jun. 2022.

LOPES, T.; AMADO, M. P.; POGGI, F. **Construção Sustentável-Fase de Pré-Concepção**. In: 4o Congresso Nacional da Construção. Coimbra, 2012.

LUIZ, Náide F.; CECCHIN, Daiane; AZEVEDO, Afonso R. G.; ALEXANDRE, Jonas; SOUSA, Francine Aparecida. **VARIETADES DE TELHAS ENCONTRADAS NO MERCADO. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 16, n. 29, 2019.

MATEUS, Ricardo Filipe Mesquita da Silva. **Avaliação da sustentabilidade na construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis**. 2009.

MEDEIROS, L. M.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. **Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos**. Ambiente Construído, v. 18, p. 365-385, 2018.

MICRO, SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS; EMPRESAS, E. PEQUENAS. **Cerâmica vermelha para construção: telhas, tijolos e tubos**. São Paulo: Sebrae, 2008.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira** – São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

NAZÁRIO, Lanna Celly da Silva. **Caracterização e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da produção de telhas cerâmicas no município de Parelhas/RN**. 2019. Dissertação de Mestrado. Brasil.

NEVES, Fernando Luiz. Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak. **O Papel**, v. 53, n. 2, p. 38-45, 1999

O que são telhas ecológicas? **Casa da Telha**, 2021. Disponível em: <<https://www.casadatelha.com.br/o-que-sao-telhas-ecologicas/>> Acesso em: 07 mai. 2022.

PASSOS, Paulo Roberto de Assis. **Destinação sustentável de cascas de coco (Cocos nucifera) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas**. Tese de Doutorado. UFRJ: Rio de Janeiro, 2005.

SAADE, Marcella RM et al. A Avaliação do Ciclo de Vida–ACV, e a etapa de avaliação de impactos ambientais: considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais. **Natureza on-line**, v. 3, p. 109-116, 2014.

SALES, Almir; LAHR, Francisco Antonio Rocco. Strength and stiffness classes of Brazilian timbers: The new Brazilian code for design of timber structures. **International Journal of Civil & Environmental Engineering**, v. 14, p. 1-5, 2014.

SANTOS, Larissa Carrera Fernandes dos. **Avaliação de impactos ambientais da construção**: comparação entre sistemas construtivos em alvenaria e em wood light frame. UTFPR: Curitiba, 2012.

SCHELB, Cristina Galvão. **Avaliação de tipologias construtivas nos critérios de sustentabilidade**: estudo de casos – telhas. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

SILVA, Elaine Aparecida da; MOITA NETO, José Machado. Possibilidades de melhorias ambientais no processo de reciclagem do polietileno. **Polímeros**, v. 26, p. 49-54, 2016.

SILVA, Julierme Siriano; SERRA, Juan Carlos Valdés; D'OLIVEIRA, Maria Carolina de Paula Estevam. Análise mecânica e físico-química de telhas ecológicas cartonadas em diferentes idades de utilização. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 211-222, 2016.

SILVA, Leonardo José Dias; FRANCISCON, Maria Silvia Capelletto; DA ROCHA, Rodolfo Cavaliere. Utilização de telhas de PET reciclado na construção civil. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 6, n. 1, p. 44-49, 2010.

SIMAPRO. **ACV BRASIL**, [2022?]. Disponível em: <<https://acvbrasil.com.br/software/simapro>> Acesso em: 8 jun. 2022.

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, DM de; PEREIRA, Sibeli Warmiling. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. **Coletânea Habitare**, v. 7, p. 96-127, 2006.

SON, Hyojoo; KIM, Changwan; CHONG, Wai Kiong; CHOU, Jui-Sheng. Implementing sustainable development in the construction industry: constructors' perspectives in the US and Korea. **Sustainable Development**, v. 19, n. 5, p. 337-347, 2011.

SOUSA, Filipa Alexandra Faustino de. **Optimização de métodos de escolha de materiais com base no desempenho sustentável**. FEUP: Porto, 2010.

SOUZA, Lilian Cardoso; BRITO, Eliézer Rouze; DA SILVA, Alberto Nogueira. **TELHAS ECOLÓGICA DE PET GERENCIAMENTO DA QUALIDADE**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXIX, Nº 000156, 25/01/2019. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/telhas-ecologica-de-pet-gerenciamento-da-qualidade>> Acesso em: 7 jun. 2022.

UEMURA, Marise B. Tetra Pak® e a Logística Reversa. **Estratégias Empresariais e a Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)**, 2015.

TELHA Cerâmica 41x22cm Portuguesa Vermelho Silva. **Leroy Merlin**, 2022b. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/telha-ceramica-41x22cm-portuguesa-vermelho-silva_88591230?store_code=39> Acesso em: 5 jun. 2022.

TELHA de cerâmica portuguesa cerâmica silva 23,5x40,9cm natural. **Cassol Centerlar**, 2022. Disponível em: <https://www.cassol.com.br/telha-de-ceramica-portuguesa-ceramica-silva-23-5x40-9cm-natural/p?idsku=1724097&gclid=Cj0KCQjwsdiTBhD5ARIsAlpW8CKkv0qWMWVeEdyHJ7r_tdD_rj0T8TLidUeEfs6hYRV35rs7c7UT4YwaAl0bEALw_wcB> Acesso em: 07 mai. 2022.

TELHA de Concreto Cumeeira Cinza Brastelha. **Pinezi**, reforma e construção, [2022?]. Disponível em: <<https://www.pinezi.com.br/telhas-e-mantas/telha-de-concreto/telha-de-concreto-cumeeira-cinza-brastelha?parceiro=1188>> Acesso em: 5 jun. 2022.

TELHA Ecológica. Mais conforto térmico e acústico. **Ecopex**, 2021. Disponível em: <<https://ecopex.com.br/telha-ecologica/>> Acesso em: 09 jul. 2022.

TELHA Ecológica PET. **Casa da telha**, [2022?]. Disponível em: <<https://site.casadatelha.com.br/produtos/telha-ecologica/>> Acesso em: 5 jun. 2022.

TELHA Ecológica Reciclada Térmica 2,20mx92cm Cinza Ibaplac. **Leroy Merlin**, 2022c. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/telha-ecologica-reciclada-termica-2,20mx92cm-cinza-ibaplac_90329456?region=grande_sao_paulo&gclid=Cj0KCQjw1N2TBhCOARIsAGVHQc5SYjq0GDFiVwWE2KN_mO5ucGLR0N4d6sMQ12HDIRlin62wF6jTjuUaAkeIEALw_wcB> Acesso em: 5 jun. 2022.

TESKE, S.; GONÇALVES, P. F. A.; NAGALLI, A. Desenvolvimento de modelo conceitual de telha ecológica a partir de resíduos de PET e gesso da construção. **Cerâmica**, v. 61, p. 190-198, 2015.

VALCARENGHI, Cristina; PIOVESAN, Angela Zamboni. Análise das propriedades físicas e mecânicas nas telhas de concreto fabricadas na cidade de Herval dOeste. **Unoesc & Ciência-ACET**, v. 2, n. 1, p. 19-30, 2011.

WORRELL, Ernst; PRINCE, Lynn; MARTIN, Nathan; HENDRIKS, Chris; MEIDA, Leticia Ozawa. Carbon dioxide emissions from the global cement industry. **Annual review of energy and the environment**, v. 26, n. 1, p. 303-329, 2001.

YOSHIMURA, Katia Schoepes de Oliveira; YOSHIMURA, Humberto Naoyuki; WIEBECK, Hélio. Avaliação do ciclo de vida de telha ecológica à base de papel reciclado. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 7, n. 2, p. 82-94, 2012.