

COLÉGIO SESI BOQUEIRÃO

ECOPLASF

Uso de resíduos descartados incorretamente para melhoria das pavimentações asfálticas - FaseIII

Curitiba - PR



Maria Cecília Wunder de Oliveira

Vitória Simão Vernizi

Amanda de Souza Maloste

ECOPLASF

Uso de resíduos descartados incorretamente para melhoria das pavimentações asfálticas - FaseIII

Relatório apresentado à 9ª FEMIC - Feira
Mineira de Iniciação Científica.

Orientação da Prof. Amanda de Souza Maloste.

Curitiba - PR



RESUMO

No mundo investidor em que vivemos hoje, observa-se que as indústrias petrolíferas realizam a exploração do petróleo, que é uma atividade que emite gigatoneladas de CO₂ para a atmosfera. Além disso, resíduos como polietileno e poliestireno (plásticos e/ou isopor®) que tem um alto tempo de decomposição e o asfalto comum que não é de uma boa qualidade, são derivados do petróleo. Outro agravante para emissão de gases para atmosfera é a produção de pavers, pois nela usa-se cimento. Assim sendo, o desenvolvimento desse projeto visa produzir uma massa que preencha os buracos das pavimentações, além de fazer um paver ecológico (idealizado na fase II) para diminuir o uso do cimento, portanto a ideia é que a massa seja feita a partir de resíduos derivados do petróleo, juntamente com o vidro e fibra de coco para obter uma maior resistência térmica e mecânica. Então, diante disso os protótipos foram produzidos todos com os resíduos, vidro e fibra de coco juntamente com um ligante natural, no qual o ligante de maior resistência foi o protótipo IV, onde o seu ligante é o barro. Após a escolha do protótipo base, em ambas as fases foram realizados diversos testes e dentre eles estão: resistência térmica, resistência mecânica através da prensa de Marshall, impermeabilidade, testes de compressão. Além disso, a equipe realizou uma aplicação prática da matéria prima criada no chão do estacionamento de seu colégio a fim de testar a aplicação da massa e película produzida, deixando veículos transitando nesse espaço. Na sequência foi realizado o custo estatístico dos pavers ecológicos para uma visualização de mercado. Diante dos procedimentos realizados, é possível visualizar que a proposta é viável com um custo de produção muito inferior ao asfalto e cimento comum. Ademais, a equipe tem planos futuros para a evolução e melhoria do projeto.

Palavras-chave: Resíduos. CO₂. Pavers. Ecológico.



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.1 OBJETIVO GERAL	6
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.3 JUSTIFICATIVA	6
2. METODOLOGIA	7
2.1 COLETA DE MATERIAIS	8
2.1.1 Coleta de materiais no Colégio Sesi da Indústria - Boqueirão	8
2.2 PREPARO DOS MATERIAIS	9
2.2.1 Preparo dos protótipos	10
2.3 PRODUÇÃO DO PAVER	10
2.3.1. Protótipo Paver I	11
2.3.2 Protótipo Paver II	12
2.3.3 Impermeabilização paver	13
2.3.3.1 Molde do impermeabilizante	14
2.4 CUSTOS	14
2.5 APLICAÇÃO EM ESCALA REAL	15
2.5.1 Impermeabilização buraco	16
2.5.2 Simulação da aplicação real dos pavers	16
2.6 APLICAÇÃO EM GARAGEM	17
2.6.1 Tráfego de veículos nos pavers implantados	18
2.7 TESTES PADRÕES DO PAVER	19
2.7.1 Ensaio de Compressão	19
2.7.1.1 Realização do ensaio de compressão	22
2.7.2 Ensaio de Slump	23
2.7.3 Determinação da absorção da água por imersão	23
2.7.4 Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de prova cilíndricos	24
2.7.5 Teste de resistência a uma força aplicada	25
2.7.6 Resistência a veículos.	27
3. RESULTADOS OBTIDOS	29
3.1 COLETA DE RESÍDUOS DO COLÉGIO SESI DA INDÚSTRIA BOQUEIRÃO	29
3.2 PREPARO DOS RESÍDUOS	29
3.3 PREPARO DA MISTURA	29
3.4 PAVER	30
3.4.1 Produção do paver	30
3.5 APLICAÇÃO EM GARAGEM	31
3.5.1 Tráfego de veículos nos pavers implantados	32
3.6 TESTES	33
3.6.1 Ensaio de compressão	33
3.6.1.1 Comparação do tamanho da amostra antes e depois do ensaio	34
3.6.2 Ensaio de Slump	35
3.6.3 Determinação da absorção da água por imersão	35
3.6.4 Teste de resistência a uma força aplicada.	35
3.6.5 Comparação do paver de concreto com o do ECOPLASF	36



3.7 CUSTO DE TRANSPORTE	37
3.8 RENDIMENTO E CUSTO PARA A REPRODUÇÃO EM GRANDE ESCALA	37
3.9 PROPOSTA DE APLICAÇÃO	38
3.9.1 Aplicação no estacionamento do Colégio Sesi Boqueirão	38
3.9.2 Economia circular	38
4. CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
5. REFERÊNCIAS	43
6. APÊNDICE	49

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o aumento do consumo têm gerado sérios problemas socioambientais, como o descarte inadequado de plásticos, isopor® e vidro, materiais que levam séculos para se decompor.

Estima-se que 91% desses resíduos não são reciclados, acumulando-se na natureza e contribuindo para a formação de microplásticos que absorvem compostos químicos tóxicos. Esses contaminantes afetam diretamente a biodiversidade aquática, resultando na morte de milhares de animais marinhos e oferecendo riscos à saúde humana.

Além dos impactos nos ecossistemas aquáticos, o descarte de resíduos também interfere na agricultura, como no caso do coco verde, cujo acúmulo favorece pragas e contamina o solo. Outro desafio urbano é a deterioração das vias públicas, agravada pelo tráfego intenso e pela falta de soluções duráveis e sustentáveis para a pavimentação.

Avalia-se que 66% da população mundial viverá em áreas urbanas até 2050, o que pode intensificar esses problemas. Além desses, outro problema ambiental enfrentado é na construção civil que por sua vez, é uma das maiores emissoras de dióxido de carbono (CO₂), principalmente devido ao uso do cimento, cuja produção emite cerca de 1 kg de CO₂ por kg fabricado.

O asfalto, derivado do petróleo, também contribui negativamente, tanto pela emissão de gases de efeito estufa quanto pelos impactos em fauna e flora. Diante desse cenário, torna-se urgente o desenvolvimento de alternativas sustentáveis.

Assim sendo, o presente projeto propõe a reutilização de resíduos sólidos como plásticos, isopor®, vidro moído e fibras naturais, como a do coco, na produção de pavimentos ecológicos (pavers) e massa para reparo de buracos em vias urbanas.

Na primeira fase, foi desenvolvida uma massa composta por esses materiais, buscando reaproveitamento eficiente e redução do impacto ambiental. Na fase seguinte, o foco foi na inclusão de outras fibras e na criação de uma película impermeabilizante atóxica, visando ampliar as aplicações e a durabilidade do material.

Já na fase três, o objetivo principal é realizar comparação nos testes nas normas padrões da ABNT para pavers de concreto e se aprofundar no estudo da durabilidade do material, a fim de posteriormente buscar uma aplicação no mercado, além de intensificar os estudos para pavers de trânsito pesado.

Portanto, este projeto busca não apenas diminuir os impactos ambientais causados pelo descarte de resíduos e pela indústria da construção civil, mas também oferecer uma solução viável para melhorar a infraestrutura urbana, promovendo responsabilidade ambiental, inovação e bem-estar social.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência técnica e a viabilidade prática dos pavers ecológicos desenvolvidos nas fases anteriores, com base em testes normatizados. Além de realizar a sua aplicação real em calçadas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar testes comparativos com base nas normas da ABNT para pavers de concreto;
- Estudar o comportamento do material em diferentes condições de uso, visando sua aplicabilidade em larga escala na construção civil;
- Promover a reutilização do próprio paver já gasto que seriam descartados, contribuindo com a economia circular e a sustentabilidade urbana;
- Investigar a viabilidade de inserção do produto no mercado como alternativa ecológica aos materiais convencionais;
- Realizar novos moldes dos pavers, incluindo moldes para impermeabilização;
- Desenvolver paver para trânsito pesado.

1.3 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento do ECOPLASF surgiu a partir da observação direta dos diversos problemas ambientais presentes em nosso cotidiano. Durante deslocamentos e atividades diárias, foi possível identificar situações que refletem a falta de conscientização ambiental e de políticas públicas eficazes, como o acúmulo de lixo nas vias públicas, a má conservação e pavimentação das ruas, além das consequências visíveis das mudanças climáticas, como o aumento do efeito estufa.

Diante dessa realidade, nossa equipe reconheceu a necessidade de propor ações que contribuam para a redução dos impactos ambientais e para o incentivo à

sustentabilidade. Com isso durante o projeto além de fazermos uma coleta desses resíduos, reaproveitando-os para criar uma massa em que preencher os buracos das ruas e produza pavers ecológicos, para assim, diminuirmos tanto problemas ambientais, como sociais.

2. METODOLOGIA

Na primeira fase do projeto, foram desenvolvidos quatro protótipos, todos com os produtos base que são: plástico, isopor®, vidro e fibra de coco, o que os diferencia, são os ligantes naturais, em que o primeiro protótipo foi desenvolvido com uma cola derivada do leite, o segundo com uma cola derivada do amido de milho e o terceiro com o barro. O quarto protótipo, também foi desenvolvido com o barro, porém o que o diferencia da terceira massa, é o adicional de mais fibra de coco.

Tendo em vista que se a massa pegasse umidade ou chuva, e pudesse se desfazer, realizamos uma película protetora para dar mais resistência a massa, tanto térmica quanto mecânica. Foram desenvolvidas três películas impermeabilizantes, em que o isopor® foi dissolvido no thinner® a partir do princípio da regra de solubilidade. Na película I, foi somente isopor® dissolvido no thinner®, na película II, foi adicionado areia e na película III foi adicionado vidro.

Após desenvolver as massas e as películas impermeabilizantes conforme a Figura 1, realizou-se testes para testar a eficácia da massa, respectivamente da película protetora, para entender se a massa pode ser aplicada. Diante da massa escolhida realizou-se testes de altas e baixas temperaturas, testes de impermeabilidade, testes de compressão e testes a uma força aplicada através da adaptação de uma prensa de Marshall.

Figura 1 - Protótipos da massa de resíduos



Fonte: Própria Autoria, 2023.

No início da segunda fase procurou-se replicar diversas vezes a amostra, para ver sua aplicabilidade, além de adaptar alguns testes tendo em vista que o objetivo do projeto além de melhorar as vias públicas é diminuir o lixo do meio ambiente.

Já na terceira fase desta pesquisa, busca-se realizar os testes padronizados com o objetivo de avaliar o desempenho técnico do paver ecológico desenvolvido. Essa etapa é fundamental para validar sua aplicabilidade prática e garantir que ele atenda aos requisitos de resistência, durabilidade e segurança exigidos para pavimentações. Para isso, será construída uma calçada com tráfego real utilizando o paver ecológico, permitindo uma análise mais fiel de seu comportamento em condições de uso cotidiano.

Além disso, serão realizados testes comparativos com pavers de concreto tradicionais, a fim de identificar pontos de melhoria e promover ajustes no produto ecológico, buscando alcançar o máximo de semelhança estética e funcional, mas utilizando materiais e métodos que reduzam impactos ambientais. Nesta fase, também expandiremos a pesquisa voltada à economia circular, fortalecendo nosso compromisso com a sustentabilidade: além de dar uma nova vida útil aos resíduos utilizados na produção dos pavers, contribuiremos para a geração de empregos, promovendo inclusão social e desenvolvimento econômico por meio de práticas ambientalmente responsáveis.

Dessa forma, para dar início a produção dos protótipos em maior escala, foi realizado uma coleta dos resíduos necessários para realização da massa e com isso realizamos o preparo da massa e da película para a aplicação da massa em um buraco em tamanho real.

2.1 COLETA DE MATERIAIS

Considerando a produção em grande escala dos pavers ecológicos e protótipos para a realização de testes, com a ideia de que esses derivados que serão utilizados sejam os que são descartados indevidamente pela sociedade na natureza, e que causem toda a problemática já abordada na introdução da presente pesquisa. Efetuou-se uma ação social de criar um ponto de coleta desses materiais nas regiões do Colégio Sesi.

2.1.1 Coleta de materiais no Colégio Sesi da Indústria - Boqueirão

Foi-se idealizado uma iniciativa para coleta de resíduos no Colégio Sesi, para que alunos e funcionários contribuam para o meio ambiente e para o projeto. Os resíduos foram

separados pelos seus respectivos nomes (plástico, isopor® e vidro) e em diferentes lixeiras para uma melhor coleta. (Figura 2)

Figura 2 - Coleta de resíduos



Fonte: Própria autoria, 2023.

Em seguida foi realizada a produção das amostras do protótipo IV, tendo em vista os resultados da fase I, em que é o mais eficaz e resistente, ou seja, foi o escolhido. Então realizamos mais amostras do mesmo protótipo para com isso ir aperfeiçoando.

2.2 PREPARO DOS MATERIAIS

Após a coleta, foi-se iniciado o preparo dos plásticos, isopores® e vidros. Em um primeiro momento, todos os materiais passaram por uma fase de limpeza e depois o plástico e o isopor® foram triturados em um liquidificador (Figura 3), em seguida, quebramos em pequenas partículas os vidros, com auxílio de uma barra e panela de ferro, juntamente com uma tampa de madeira para não espalhar os cacos de vidro, para que não houvesse possíveis riscos de lesões (Figura 4). Já em relação ao coco verde, foi aberto utilizando uma faca e cortado em pedaços menores, e foi desfiado em pequenas fibras e para finalizar foi lavado e seco (Figura 5). Na sequência, a terra foi coletada do bosque do colégio.



Figuras 3, 4 e 5 - Preparo dos materiais



Fonte: Própria autoria, 2024.

2.2.1 Preparo dos protótipos

O preparo da massa, primeiramente misturou-se a terra com a água formando um barro, em seguida adicionou-se a fibra de coco, após o plástico, isopor® e o vidro. Em seguida, colocou-se a massa produzida no molde e pressionou-se com um papel toalha, a fim de retirar o excesso de água e consequentemente deixando a massa compacta e uniforme. Conforme já desenvolvido nas fases anteriores, passou-se pelo processo de impermeabilizar a amostra, visto que durante a aplicação nas ruas, será necessário ser capaz de aguentar chuvas e poças de água.

2.3 PRODUÇÃO DO PAVER

A partir da aplicação da massa no estacionamento do colégio, observou-se a possibilidade de estender o objetivo da pesquisa, afinal, as lajotas e pavers são derivados de concreto e tem toda uma problemática associada à sua produção, uma vez que, o cimento é produzido a partir da queima de minerais, na qual produz uma grande quantidade de gases de efeito estufa, sendo aproximadamente 5% as emissões globais (GOV.BR, 2020).

Alinhado a isso, surgiu-se a ideia de construir pavers ecológicos a partir da massa do ECOPLASF, para além de solucionar o problema dos buracos das ruas, diminuir o uso de cimento que liberam gases poluentes em sua produção.

2.3.1. Protótipo Paver I

Em um primeiro momento, foi estudado todo processo de produção desse material, vendo normativas, dimensões e processos, a fim de melhor produzir o primeiro protótipo. Assim, em seguida foi feito o molde (Figura 6) com tamanho padrão de 10x20x4, por ser o tamanho que se alinha ao objetivo principal da segunda fase do projeto, isto é, recomendado para uso de tráfego leve como passeios e calçadas, quintal e outros (PAVIMENT, 2019).

Figura 6 - Molde de paver



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Para o preenchimento do molde, produziu-se a massa do protótipo IV (Tabela 9) e após o tempo de cura, foi desmoldado.

Tabela 9 – Quantidade de materiais para a produção dos pavers

MATERIAL	QUANTIDADE
Isopor®	5 g
Plástico	15 g
Vidro	20 g
Fibra de coco	15 g
Terra	350 g
Água	160 ml

Fonte: Própria Autoria, 2024

2.3.2 Protótipo Paver II

Posteriormente, foi observado que o molde do paver deveria ser um pouco menor por conta do processo de impermeabilização, de maneira que os paver fiquem uniformes e com a medida correta. O novo molde teve apenas a diminuição de milímetros, agora tendo um volume de cerca de 750 cm³.

Figura 7 - Novo molde de paver



Fonte: Própria Autoria, 2025.

Foi observado que o protótipo paver I não é uniforme por conta das fibras muito perto das extremidades, que acabam dificultando a impermeabilização. Então após a construção do novo molde, foi idealizada uma nova maneira para a produção de pavers. No qual foi adicionado uma pequena camada inicial de barro, para que as extremidades fiquem uniformes (Figura 8).

Figura 8 - Protótipo Paver II



Fonte: Própria Autoria, 2025.

Seguindo o conceito de economia circular, a produção desses novos pavers foram feitas à base de pavers reutilizados, os quais acabaram dando errado de alguma forma, foram utilizados para o preenchimento dos moldes, gerando assim os novos paver (protótipo paver II).

2.3.3 Impermeabilização paver

No desenvolvimento desta proteção que impedisse que a água infiltre no material, foi adotado princípios químicos fundamentados na regra da solubilidade, onde substâncias semelhantes se dissolvem entre si.

A partir disso, realizou-se um levantamento bibliográfico para estudar a mudança no solvente de produção da película impermeabilizante, isto porque o Thinner pode ser classificado como tóxico, podendo gerar consequências adversas à saúde humana e ao meio ambiente a longo prazo.

Para isso, foi buscado na literatura a existência de solventes atóxicos, que não geram tantos impactos. Conforme analisado por Ponsoni e Campos (2024), um desses produtos atóxicos, classificado como solvente natural, é o D-Limoneno, onde acaba sendo um material indicado para substituição do Thinner e outros solventes químicos no alisamento de massas de modelar, sem impactar a saúde humana ou o meio ambiente, tendo em vista que se encontra na casca das frutas cítricas e é classificado como um hidrocarboneto terpênico.

Passado a parte teórica, adquiriu-se o solvente e utilizou-se junto ao poliestireno expandido, conforme a Figura 9 abaixo:

Figura 9 - Impermeabilização paver



Fonte: Própria Autoria, 2024.

2.3.3.1 Molde do impermeabilizante

Como parte da proposta de aprimoramento do processo, também realizamos estudos voltados para a automatização da impermeabilização dos pavers, buscando soluções mais eficientes e padronizadas. Uma das ideias exploradas foi o desenvolvimento de um molde como o que já foi feito antes, porém um pouco maior e como o revestimento interno com um plástico para agir com desmoldante, para que a película impermeabilizante seja mais uniforme.

Como foi observado, o primeiro molde do paver é a medida final do pavers, seguindo o padrão realizado no pavers comuns, então idealizamos e construímos um novo molde um pouco menor para que seja possível a utilização do primeiro molde como molde de impermeabilizante. Assim, seguindo os padrões de medidas corretamente.

Ele foi utilizado para saber como o impermeabilizante se comportaria com a madeira, onde o colocamos em duas condições diferentes. Uma foi aplicada normalmente sem o uso de qualquer interferência entre o impermeabilizante e a madeira do molde, já o segundo foi aplicado com o uso de um plástico, como forma de desmoldante.

Essa abordagem visa facilitar a produção em maior escala, garantindo uma maior uniformidade entre os pavers e redução das etapas manuais no processo de impermeabilização.

2.4 CUSTOS

Para efetuar uma estimativa dos gastos, e mensurar o impacto econômico da aplicação do projeto, foi idealizada uma tabela. Onde considerou-se que na Tabela 9, buscou-se estimar caso a terra fosse adquirida de algum espaço urbano e/ou rural público, visto que assim, não terá custo para esse material.

Tabela 9 - Gastos para a produção do paver

GASTOS PARA A PRODUÇÃO DO PROTÓTIPO FINAL				
PRODUTO	PREÇO VAREJO	QUANTIDADE DA COMPRA	QUANTIDADE UTILIZADA	PREÇO GASTO POR PRODUÇÃO
TERRA	-	10000 g	9200	-
ÁGUA	R\$ 83,71	5 m²	0,00384	R\$ 0,0642
PLÁSTICO	-	0 g	384	-
ISOPOR	-	0 g	128	-



GASTOS PARA A PRODUÇÃO DO PROTÓTIPO FINAL				
VIDRO	-	0 g	512	-
FIBRA DE COCO	-	0 g	1000	-
LIMONENO	42,90	500 ml	10	R\$ 0,86
ENERGIA	R\$ 0,33	0.8 Kwh	0,166	R\$ 0,07

TOTAL: R\$ 1,62

Fonte: Própria Autoria, 2023.

2.5 APLICAÇÃO EM ESCALA REAL

Para entender a aplicabilidade da massa produzida pela equipe, foi projetado a aplicação da amostra em um buraco, onde examinou-se a aplicação em escala real ao solucionar um problema recorrente do Colégio Sesi – Boqueirão: o desnivelamento das lajotas do estacionamento. Para isso, retirou-se algumas peças de lajotas de concreto que estavam recorrentemente soltas no pátio e causavam transtornos para a circulação de veículos. Assim, produziu-se a massa padrão e preencheu-se o buraco no chão com a massa do protótipo IV produzida pela equipe, aumentando a quantia da massa em cerca de 16x, juntamente com película impermeabilizante de vidro, sendo que as dimensões da área de aplicação eram de 30cmx30cmx8cm por lajota, como existia uma totalidade de quatro lajotas e meia, obteve-se um volume de cerca de 0,378m³ (volume de um hexano multiplicado pela quantia total).

Após a coleta e preparo dos resíduos, foi produzido a quantidade necessária para o preenchimento do respectivo buraco, diretamente no local (Figura 10).

Figura 10 - Produção e Aplicação da Massa



Fonte: Própria Autoria, 2024.

2.5.1 Impermeabilização buraco

A película impermeabilizante foi feita a partir do isopor®, dissolvido no Dlimoneno, juntamente com o vidro para dar mais aderência. Após a película foi aplicada (Figura 11) posteriormente ao tempo de cura da massa, para garantir a melhor eficiência da aplicação real da proposta da equipe.

Figura 11 - Produção e Aplicação da Película protetora



Fonte: Própria Autoria, 2024.

2.5.2 Simulação da aplicação real dos pavers

Foram produzidos diversos pavers para uma melhor visualização de como seria realizado uma aplicação real, após a produção, organizamos todos os pavers lado a lado, simulando uma aplicação real, como se estivessem sendo instalados em uma calçada ou garagem. Essa disposição permitiu uma visualização mais concreta de como os pavers se comportam quando unidos, facilitando a análise de encaixe e nivelamento, podendo ter o conhecimento de possíveis métodos para sua aplicação.



Figura 12 - Simulação da aplicação



Fonte: Própria Autoria, 2025.

2.6 APLICAÇÃO EM GARAGEM

Na sequência foi realizado uma aplicação real dos pavers em uma área de garagem que apresenta tráfego constante de veículos mais pesados, como caminhões e carros, com o objetivo de observar de forma prática o desempenho do material em condições exigentes.

Primeiramente foram retirados os paver comuns, em seguida foi preenchido com areia cerca de 4 cm, pois foi observado que estes já aplicados na garagem tinham uma espessura maior (8 cm) por conta do tráfego de veículos mais pesados, como em um posto de gasolina. A areia foi compactada para ter melhores resultados e uma melhor estabilidade no pavers, a adição dela teve o objetivo de “rejunte” entre o solo e o protótipo aplicado.

Figura 13, 14 e 15 - Implementação dos pavers



Fonte: Própria Autoria, 2025.



2.6.1 Tráfego de veículos nos pavers implantados

Após a aplicação dos pavers em conjunto, foi realizado a passagem de veículos com cerca de 1,3 ton e 7,5 ton (caminhão carregado), para uma primeira observação sobre o comportamento dos pavers. Eles ficarão implementados por alguns meses, sendo expostos a mudanças no tempo, desgaste, e tráfego de veículos.

Figura 16 e 17 - Passagem de veículos



Fonte: Própria Autoria, 2025.

Essa implementação permitirá uma melhor visualização do comportamento dos pavers ao longo do tempo, analisando seu desgaste, resistência e a eficácia do encaixe entre as peças diante das cargas aplicadas. A partir disso, poderemos avaliar a viabilidade do uso dos pavers nesse tipo de ambiente e identificar possíveis melhorias para uma melhor eficácia.

Tabela 10 - Fatores a ser observados

Desgaste	Será observado o desgaste superficial dos pavers aplicados.
Massa	A variação de massa do paver.
Danos	Se houve rompimento ou quebra do paver.
Volume	Se obteve alguma mudança de volume/tamanho do paver aplicado.

Fonte: Autoria Própria, 2025.

2.7 TESTES PADRÕES DO PAVER

Os testes padrões no concreto, que é o material qual o paver é comumente produzido, são realizados para garantir a qualidade, segurança e durabilidade do material, assegurando que ele suporte cargas de massas elevadas e condições climáticas diversas, assim cumprindo as normas destinadas para o material utilizado, e consequentemente, prolongando o tempo de vida útil e o desempenho adequado.

Dessa forma, foi realizado a adaptação desses ensaios nos pavers do ECOPLASF, sendo eles.

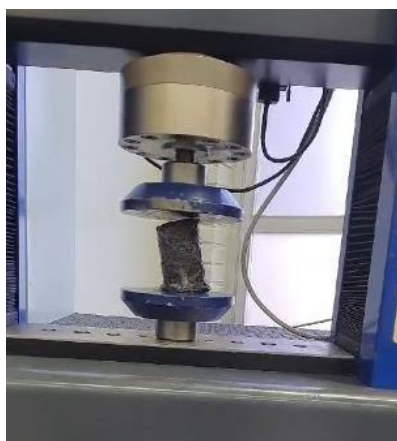
2.7.1 Ensaio de Compressão

O Ensaio de Compressão é utilizado para determinar a resposta de um material quando submetido a forças de compressão. A aplicação é controlada de carga em uma amostra do material resultando na redução do seu volume (BIOPDI, 2024).

Todo procedimento é baseado na **NBR 7215**, norma que delimita etapas e intervalos de tempo definidos para a mistura mecânica dos materiais e em sua grande maioria, são utilizados para determinar a resistência à compressão simples do cimento Portland (BIOPDI, 2024).

Para aplicação, a norma solicita que os corpos de prova tenham 50mm de diâmetro e sua altura seja o dobro dessa medida, ou seja, 100mm (BIOPDI, 2024). Durante a realização, a amostra é colocada entre dois pistões em uma máquina de Ensaio (Figura 18) e a carga é aplicada gradualmente e controlada até que a esta seja comprimida, até a falha ou até que o determinado nível seja atingido.

Figura 18 - Máquina de Ensaio de compressão

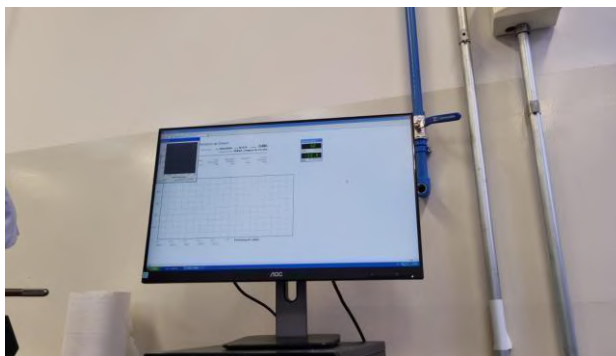


Fonte: Própria Autoria, 2024.



Durante o ensaio, o equipamento é controlado por um software (*TESC -Versão 3.04*)¹ especializado, que permite controlar a aplicação de carga e registrar os resultados obtidos em forma de gráficos e relatórios (Figura 19).

Figura 19 – Utilização do software TESC



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Segundo BIOPDI (2024), as informações que são fornecidas durante e após a realização do teste são:

- Carga máxima que o material aguenta antes da falha;
- Rigidez da amostra e sua capacidade de voltar à forma original após aplicação da carga;
- A deformação elástica, em que o material volta a sua forma original;
- Como o material se comporta;

Para um primeiro momento foi realizada a massa para os corpos de prova conforme as Figuras 20, 21 e 22:

Figuras 20, 21 e 22 - Preparação da massa



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Após o preenchimento total dos canos (Figura 23), a estrutura foi nivelada com a ajuda de um pistilo² no intuito de manter a compactação ideal.

**Figura 23 - Preenchimento dos canos de PVC**

Fonte: Própria autoria, 2024.

Em seguida, as massas foram colocadas no forno para uma secagem mais efetiva, sendo que em um primeiro momento, utilizou-se uma temperatura de 180°C por 3 horas e no segundo momento, após as amostras serem retiradas dos canos (Figura 24) por mais 2 horas a mesma temperatura. Quando já secas as amostras foram pesadas (Tabela 11) e impermeabilizadas.

Figura 24- Amostras após retiradas dos canos de PVC

Fonte: Própria Autoria, 2024.

Tabela 11 - Peso das amostras para o teste de compressão

AMOSTRAS	PESOS
1	132,9 g
2	134,7 g
3	126,3 g
4	128,4 g
5	122,5 g
6	138,2 g
7	131,9 g



8	132,0 g
9	129,0 g

Fonte: Própria Autoria, 2024.

Para a produção da película impermeabilizante (Figura 25) também foi efetuado o aumento das quantidades de material em quatro vezes mais. O processo de concepção baseou-se no padrão da equipe, isto é, o isopor® dissolvido no limoneno e depois adicionado vidro nas amostras necessárias.

Para sua aplicação nos corpos de prova, utilizou-se luvas e o procedimento ocorreu manualmente até toda a amostra ficar totalmente coberta, protegida e uniforme.

Figura 25 - Película aplicada nas amostras para o ensaio de compressão



Fonte: Própria Autoria, 2024.

2.7.1.1 Realização do ensaio de compressão

Em um primeiro momento, o técnico de laboratório auxiliou na preparação da máquina, logo, adicionou-se ao computador base (Software TESC) algumas informações e dados para melhor eficiência, como o comprimento, diâmetro da amostra, a carga que o corpo de prova iria suportar e a velocidade do ensaio.

Em seguida, a amostra foi colocada ao centro do equipamento (*EMIC DL10000 - Entendido como Máquina Universal de Ensaio (USP, 2024)*) e dada a confirmação no controle manual da máquina, realizando o procedimento com um corpo de prova de cada vez, sendo primeiro com três amostras com mesma massa (protótipo IV) e película III (limoneno + isopor + vidro), porém com diâmetros diferentes, sendo de 50mm, 52mm e 54mm de diâmetro.

Para análise de ensaio, foi repetido o procedimento acima com três amostras diferentes com a mesma película, sendo ela a de vidro, por ser a com o melhor resultado. Após a realização do ensaio de cada amostra, foi medido o corpo de prova para analisar o quanto ele foi reduzido, realizando a duplicata em seguida.

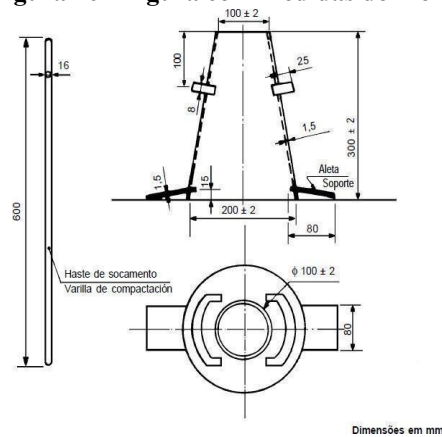


2.7.2 Ensaio de Slump

Baseado pela NBR NM 67, sendo uma norma MERCOSUL, este determina a consistência do concreto fresco através da medida dada pelo seu assentamento, que deve ser maior ou igual a medida de 10 mm. A amostra que será utilizada para o ensaio deve seguir um molde em forma de um tronco de cone oco, com as medidas internas segundo a figura

18 de:

Figura 26 - Figura com medidas do molde



Fonte: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, 1998.

O ensaio é composto pela utilização do molde, é fundamental preencher todo o molde rapidamente, para prontamente compactar cada camada com 25 golpes da haste distribuindo uniformemente sobre a seção de cada camada. Após a compactação deve-se realizar a medida do abatimento da massa, assim determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de- prova.

Como não temos os equipamentos corretos para a realização do teste, o ensaio foi adaptado. Utilizando um pistilo, nós realizamos a adaptação, golpeando o paver ECOPLASF 25 vezes, em 3 faces do molde paralelepipedico com a máxima força que conseguimos.

2.7.3 Determinação da absorção da água por imersão

O ensaio de determinação da absorção da água por imersão, será realizado seguindo a norma NBR 9778, qual o seu objetivo é determinar a absorção de água, índice de vazios e massa específica de argamassas e concretos endurecidos. Para a realização desse ensaio a partir da norma, a amostra é seca na estufa a 105 ± 5 °C por 72 horas, e a massa seca é

registrada. Para saturação, é imersa em água a 23 ± 2 °C por 72 horas, depois fervida por 5 horas. Após o resfriamento, a massa é medida com balança hidrostática, enxugada e registrada para a observação do resultado.

Devido à indisponibilidade dos equipamentos necessários para a realização do ensaio conforme a norma, adaptamos o teste, realizando a pesagem da massa do paver. A massa do paver é equivalente a 778 g, em seguida, submergimos o paver (Figura 27) em um tanque com cerca de 10 litros de água destilada. Após cerca de 96 horas, o paver foi retirado de submersão.

Figura 27 - Paver ECOPLASF submerso



Fonte: Autoria Própria, 2024.

2.7.4 Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de prova cilíndricos

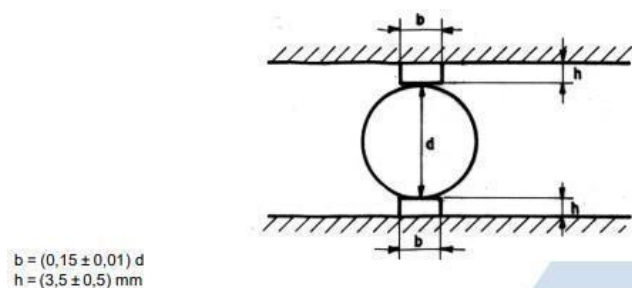
Esse teste é dado pela norma NBR 7222, que descreve como determinar a resistência à tração por compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos feitos de argamassa e concreto. A aparelhagem usada para este ensaio deve ser a mesma que a utilizada nos testes de resistência à compressão de argamassa e concreto, conforme, apresentada anteriormente, a norma NBR 5739.

Os corpos-de-prova devem ser moldados e curados conforme as normas NBR 7215 e NBR 5738, podendo ter uma relação comprimento/diâmetro entre 1 e 2, utilizando o dispositivo de moldagem.

Durante o ensaio, o corpo-de-prova deve tocar os pratos da máquina apenas em duas linhas opostas ao longo da superfície. Se os pratos da máquina forem menores em diâmetro ou altura que o corpo-de-prova, é permitido usar dispositivos adicionais para garantir o ajuste adequado. Após isso, posicione o corpo-de-prova de modo que ele

repouse ao longo de uma linha geratriz sobre o prato da máquina de compressão. Assim, deve-se colocar duas tiras de chapa dura de fibra de madeira entre os pratos e o corpo-de-prova, com o mesmo comprimento da geratriz do corpo-de-prova e com as dimensões indicadas na Figura 28.

Figura 28 - Disposição do corpo-de-prova



Fonte: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, 1994.

Na sequência, é necessário que seja feito o ajuste dos pratos da máquina até que o corpo-de-prova fique firmemente posicionado. A carga deve ser aplicada de forma contínua e suave, com um aumento constante da tensão de tração, a uma velocidade de $0,05 \pm 0,02 \text{ MPa/s}$, até que o corpo-de-prova se rompa.

Esse ensaio será realizado futuramente, a partir de uma parceria com o SENAI - CIC, onde contará com o auxílio de profissionais da área. Os corpos-de-prova produzidos estão a partir da norma dita na norma do ensaio.

2.7.5 Teste de resistência a uma força aplicada

Para que seja capaz de testar a resistência de força aplicada em uma massa asfáltica, é utilizado o Ensaio Marshall, também conhecido como Prensa de Marshall (VASCONCELOS, 2004) (Figura 29). O intuito do teste é determinar a estabilidade e fluência de misturas e está bastante ligado à quantidade correta que a mistura deve ser aplicada à determinada área.

Figura 29 - Prensa de Marshall



Fonte: Vilela, 2018.

O ensaio é produzido a partir de amostras, as quais podem sofrer adequações à temperatura. Quando está tudo adequado, coloca-se as amostras na Prensa de Marshall, que fornece uma força de compressão contínua até que a amostra se rompa, com isso, é possível entender qual sua resistência.

Sabendo que não se tem esse equipamento no laboratório do Colégio Sesi Boqueirão e diante da realidade da equipe, adaptou-se o presente teste utilizando (Tabela 11) uma chapa de aquecimento desligada para servir com base, e seis diferentes massas para analisarmos a força e a resistência que o protótipo aguenta (Figura 30). Em seguida, colocou-se a amostra no chão e testou sua força ao passar com dois veículos por cima.

Tabela 11 - Objeto e massas utilizadas no teste

NÚMERO	OBJETO	MASSA
1	Círculo de mesa	5,3 kg.
2	Mesa	8 kg
3	Chapa de aquecimento	12.6 kg
4	Pessoa 1	58kg
5	Pessoa 2	72kg
6	Pessoa 3	91kg

Fonte: Própria autoria, 2024.



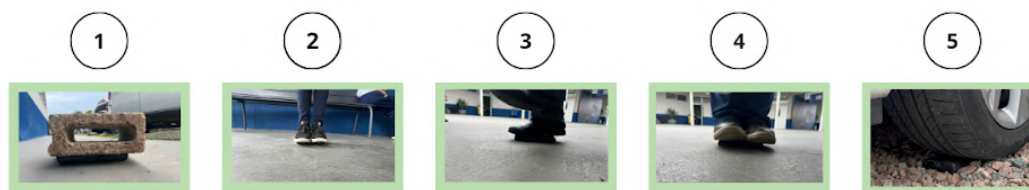
Figura 30 - Objetos utilizadas no teste



Fonte: Própria autoria, 2024.

Na fase III, esse ensaio foi replicado novamente com o protótipo VI, porém as massas sobrepostas diferentes, as quais variam de 10 kg a cerca de 1,4 ton (Figura 31). O protótipo mostrou nenhuma alteração visual, definindo um bom resultado para o ensaio novamente.

Figura 31 - Objetos utilizados na replicação do ensaio



Fonte: Própria Autoria, 2025.

2.7.6 Resistência a veículos.

Em um quinto momento levou-se o protótipo para fora, encaixou-o em meio ao solo, para simular o preenchimento de um buraco e dos pavers e foi passado com dois veículos de diferentes pesos (Figura 31 e 32), sendo o veículo 1 com 1100kg e o veículo dois pesando 1082kg.

Figura 31 e 32 - Resistência a veículos



Fonte: Própria autoria, 2024.

Os testes padrões destes nos ajudarão a entender quais serão os procedimentos que devem ser realizados para garantir que o material seja de alta qualidade, seguro e durável.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Na primeira etapa do projeto, quatro protótipos foram idealizados, permitindo observar a evolução na produção e no preparo dos resíduos, visando alcançar melhor compactação e resistência para atingir nossos objetivos.

3.1 COLETA DE RESÍDUOS DO COLÉGIO SESI DA INDÚSTRIA BOQUEIRÃO

Foi observado que a partir da ação aplicada, a coleta teve a colaboração mista dos alunos, tendo em vista que alguns alunos seguiram as instruções corretamente e outros não colaboraram. Assim visando a importância da educação ambiental implantada nas instituições escolares, para que futuramente, a população adote práticas sustentáveis.

3.2 PREPARO DOS RESÍDUOS

Em um primeiro momento, qual foi produzido o primeiro protótipo, a preparação dos resíduos foi básica, onde o poliestireno foi separado, o polietileno cortado e o vidro triturado com o auxílio de um martelo, resultando assim em partículas grandes. Já a fibra de coco foi retirada, sem lavagem ou secagem apropriada, o que resultou em uma massa não compacta e com mau odor. Nos protótipos seguintes, o poliestireno e o polietileno foram triturados com a ajuda de um liquidificador, e o vidro foi peneirado após ser triturado, restando apenas o resíduo do pó. E a fibra de coco foi lavada e secada corretamente, melhorando a compactação e eliminando o mau odor, que é causado pela proliferação de fungos.

3.3 PREPARO DA MISTURA

Para cada um dos quatro primeiros protótipos que foram produzidos, foram utilizados a mesma quantidade de resíduos, mas devido a alguns problemas observados, houve certos ajustes, para que os próximos protótipos apresentem melhores resultados. O protótipo IV foi escolhido por conta da sua maior resistência e compactação em comparação aos outros protótipos. Com isso foi produzido películas impermeabilizantes, a partir do isopor® diluído em solvente orgânico (Thinner®), para a proteção contra líquidos e aumentando sua resistência. Para aumentar a aderência, foi adicionado areia e vidro, o

que obteve o melhor resultado foi o com o vidro, por conta da sua propriedade de resistência térmica e mecânica.

3.4 PAVER

3.4.1 Produção do paver

A produção da massa base do ECOPLASF no molde do paver se mostrou compacta e resistente ao ser realizado o desmolde, ficando exatamente nas medidas necessárias descritas pela literatura para produção de pavers convencionais (Figura 33).

Figura 33 - Paver após a secagem



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Além disso, para o processo de impermeabilização (Figura 34) na sequência, observou-se diversos aspectos positivos, onde a utilização do solvente orgânico e atóxico, sendo o D- Limoneno, mostrou-se muito eficaz em diversos sentidos, o primeiro deles é sua resistência superior a película já utilizada com thinner nas fases anterior, isto é, em análises visuais ele se mostrou mais firme e resistente. Além disso, a dissolução do Isopor foi facilitada, apresentando após secagem uma melhor consistência junto ao vidro.

Figura 34 - Paver impermeabilizado



Fonte: Própria Autoria, 2024.

Assim sendo, em um primeiro momento, observa-se a possibilidade de aplicação, entretanto para comprovar a eficácia, serão necessárias as realizações dos testes padrões feitos no concreto, como o ensaio de slump (NBR NM 67), ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (NBR 5739), determinação da absorção da água por imersão (NBR 9778), entre outros testes que devem ser realizados.

Com o auxílio do molde do impermeabilizante, conseguimos um resultado inesperado, o qual toda a película impermeabilizante acabou aderindo ao material do molde e ao plástico. Esse material utilizado atualmente, é a madeira MDF, porém temos a possibilidade de trocar esse material para que o impermeabilizante não fixe no material, ajudando assim em sua retirada.

3.5 APLICAÇÃO EM GARAGEM

A implementação enfrentou alguns desafios devido a detalhes identificados durante a execução. Um deles foi o fato de os pavers estarem fora do padrão, ocasionado pelo aumento de suas dimensões em razão da película impermeabilizante.

Outro ponto observado foi que os pavers ECOPLASF possuíam espessura inferior à dos pavers removidos. Isso ocorreu porque os pavers anteriormente instalados na garagem tinham 8 cm de espessura, dimensionados para suportar o tráfego de veículos mais pesados, o que lhes conferia maior resistência.

Figura 35 - Pavers ECOPLASF implementados a garagem



Fonte: Própria Autoria, 2025.

Apesar dos desafios enfrentados na implementação dos pavers ECOPLASF, a solução alternativa apresentou bons resultados. Os pavers ficaram nivelados com os demais da garagem e demonstraram um desempenho inicial satisfatório.

3.5.1 Tráfego de veículos nos pavers implantados

Após a implementação, foi realizado o tráfego de veículos sobre os pavers para avaliar seu desempenho, considerando os efeitos do atrito e da força peso. Os testes envolveram veículos com peso variando entre 1,3 toneladas e 7,5 toneladas.

Figura 36 - Pavers implementados após o tráfego de veículos



Fonte: Própria, Autoria, 2025.

Não foi observada nenhuma alteração visual nos pavers instalados. Contudo, eles permanecerão em monitoramento por alguns meses, a fim de coletar mais dados sobre seu comportamento frente às condições climáticas, ao tráfego e ao atrito.

3.6 TESTES

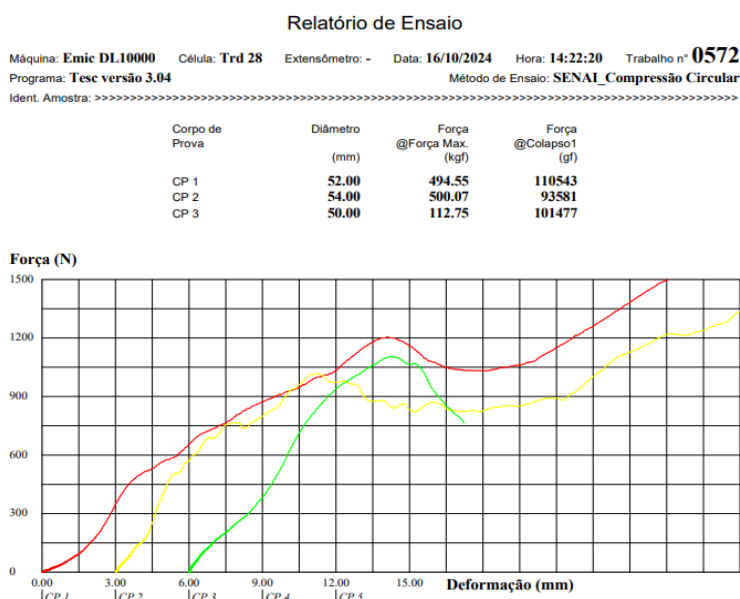
As análises dos testes, realizados na fase I e II, foram feitas visualmente sem um padrão de comparação definido. Os protótipos e películas impermeabilizantes foram submetidos a testes de resistência térmica e mecânica, e de impermeabilização. E os com os melhores resultados foram o protótipo IV com impermeabilizante III, que não mostraram qualquer alteração visual e nem mecânica.

Já na fase II, procurou-se analisar diretamente em comparação ao paver já aplicado no mercado, uma vez que já existem diversos dados dele na literatura.

3.6.1 Ensaio de compressão

Durante os testes, os resultados foram registrados em gráficos pelo programa TESC, permitindo observar o desempenho das amostras com a massa do ECOPLASF e sua película protetora. Utilizando os padrões da NBR7215, foi gerado o Gráfico 1, que mostra a força em função da deformação para os três diâmetros diferentes.

Gráfico 1 - Resultado das amostras com as três diferentes películas



Fonte: Própria Autoria, 2024.

De acordo com a Tabela 12, abaixo, é possível verificar com mais facilidade os resultados de cada corpo de prova.

Tabela 12 - Legenda dos resultados do gráfico 1

COR	CP	DIÂMETRO	FORÇA (Kgf)	COLAPSO (gf)
Vermelho	1	52mm	494,55 Kgf	110543 gf
Amarelo	2	54mm	500,07 Kgf	93581 gf
Verde	3	50mm	112,75 Kgf	101477 gf

Fonte: Própria Autoria, 2024.

A análise do gráfico e sua legenda mostraram que o corpo de prova com o diâmetro de 52mm apresentou a maior resistência, suportando cerca de 500,07 kg sem se romper. O gráfico indica que, quanto mais retilínea a linha inicial, maior a deformação, e quanto mais vertical, maior a rigidez.

A linha verde, mais vertical, indicou a maior rigidez. O teste, seguindo padrões da literatura, foi positivo, sugerindo que a massa pode suportar a circulação de pessoas e a força de veículos, proporcionando pavimentação de qualidade.

3.6.1.1 Comparação do tamanho da amostra antes e depois do ensaio

Para aprimorar os próximos passos, foi elaborado um comparativo do tamanho das amostras antes e depois do ensaio (Tabela 13).

Tabela 13 - Comparativo das amostras antes e depois do teste

AMOSTRA	ANTES	DEPOIS	RUPTURA
1 (52mm)	93mm	47mm	Não
2 (54mm)	90mm	45mm	Não
3 (50mm)	100mm	53mm	Sim

Fonte: Própria Autoria, 2024.

Conforme demonstrado, as amostras reduziram-se aproximadamente pela metade após atingirem o limite de compressão.

3.6.2 Ensaio de Slump

Após a realização do teste, o paver utilizado apresentou resultados positivos, pois não mostrou nenhuma ruptura ou alteração. Isso mostra a importância tanto da película como da massa no seu interior, evidenciando a resistência de ambas.

3.6.3 Determinação da absorção da água por imersão

Após tirarmos o paver de submersão, foi observado um grande ganho de massa, pois ele saiu de 778 g, a massa inicial, para 978 g após a realização do ensaio. Isso equivale a cerca de 25,7% de ganho de massa, comparado a massa inicial, mostrando que por mais que tenha uma película impermeabilizante, ela é permeável.

Por conta das grandes mudanças climáticas que vêm ocorrendo no planeta, acaba consequentemente aumentando os casos de inundações e enchentes em diversos locais. Isso mostra que se ela é permeável, seria uma forma alternativa para o paver, podendo assim diminuir os danos causados pelas enchentes, por conseguir absorver a água.

3.6.4 Teste de resistência a uma força aplicada.

Diante de todas as análises realizadas até o momento, pode-se perceber que a amostra é capaz de aguentar pesos elevados, uma vez que diante das seis massas o protótipo se manteve intacto.

Quanto ao teste realizado com o veículo passando sobre a amostra disposta no solo, foi o que mais nos mostrou potencial do protótipo, visto que suportou um peso maior que mil quilos, e dessa forma, consegue-se atender perfeitamente a proposta de ser aplicado para solucionar os buracos e pavers nas pavimentações asfálticas.

Entretanto, apesar do bom resultado, espera-se encontrar uma parceria com uma Universidade para que se consiga observar a força que ele aguenta utilizando o equipamento necessário e começar as comparações com o material já utilizado no mercado.

3.6.5 Comparação do paver de concreto com o do ECOPLASF

A fim de buscar uma maior eficácia nos resultados coletados, buscou-se idealizar uma comparação (Tabela 14) entre pavimentos intertravados (pavers) comuns e do material desenvolvido pela equipe, uma vez que é essencial para avaliar seu desempenho técnico e ambiental em diferentes aplicações.

Neste caso, levantou-se as características do paver tradicional de concreto em relação ao paver fabricado com material ECOPLASF, com foco em parâmetros como resistência à compressão, desempenho hidráulico e durabilidade. Essa análise permite compreender as vantagens e limitações de cada material, contribuindo para escolhas mais eficientes e sustentáveis em projetos de pavimentação.

Tabela 14 - Comparação do paver de concreto com o do ECOPLASF

COMPARAÇÃO	PAVER	PAVER ECOPLASF
Resistência à compressão	35 Mpa	11,108 MPa
Desempenho hidráulico	6%	25,7%
Durabilidade	5 a 10 anos	Está sendo estudado

Fonte: Própria Autoria, 2025.

Diante dessa comparação, observa-se que o paver ecológico tem características que se assemelha a um paver já inserido no mercado, entretanto, necessita realizar algumas alterações para que seja capaz de suportar uma maior resistência à compressão. Entretanto, visto que é feito de materiais que seriam descartados na natureza e que poderiam gerar impactos no mundo como um todo, percebe-se que os protótipos do ECOPLASF têm grande potencial de ser inserido no mercado.

Na sequência, serão estudados alguns pontos para melhoria dos resultados levantados mais comparações a fim de viabilização da aplicação real do projeto na sociedade.

3.7 CUSTO DE TRANSPORTE

Por ser um paver mais leve em comparação aos convencionais, isso demanda menos torque dos veículos durante o transporte e distribuição, o que resulta em menor consumo de gasolina e, conseqüentemente, na redução da emissão de gases poluentes na atmosfera. Além dos benefícios ambientais, essa característica também contribui para a diminuição dos custos logísticos, tornando o processo mais econômico.

Figura 37 - Representação visual da diferença de custos para transporte



Fonte: Própria Autoria, 2025.

Dessa forma, conseguimos oferecer uma solução mais sustentável e acessível, unindo eficiência, responsabilidade ambiental e viabilidade financeira.

3.8 RENDIMENTO E CUSTO PARA A REPRODUÇÃO EM GRANDE ESCALA

Dado pelos cálculos, o m² do nosso protótipo IV + impermeabilizante III para o preenchimento dos buracos em pavimentações asfálticas rende cerca de 276 g, que tem como custo equivalente de R\$ 0,63 com a impermeabilização feita a partir do uso do D-limoneno.

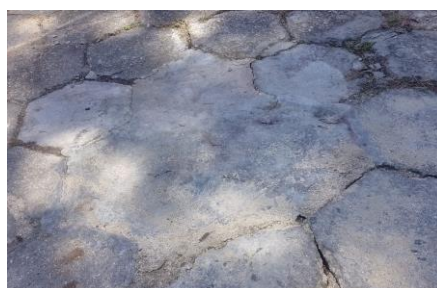
Baseado na tabela feita para o custo estatístico da produção do paver, foi calculado o custo para o m² completo de pavers, com o uso de 50 pavers, que resultou em R\$ 49,5, o qual equivale a quase metade do preço de pavers produzidos a partir do uso do concreto, que custa cerca de R\$ 98,00.

3.9 PROPOSTA DE APLICAÇÃO

3.9.1 Aplicação no estacionamento do Colégio Sesi Boqueirão

A aplicação (Figura 38) foi dificultada pela falta de nivelamento do terreno pavimentado com lajotas, tornando a área menos uniforme em comparação ao asfalto padrão. No entanto, após o período de cura de 13 dias (afetado por chuvas em Curitiba-PR), a resistência do material foi avaliada. Apesar da intensa movimentação de veículos de diferentes tamanhos, a área de preenchimento manteve-se intacta mesmo depois de diversos meses.

Figura 38 - Aplicação Real



Fonte: Autoria Própria, 2024

Observou-se que, devido à irregularidade do terreno, parte da película impermeabilizante se descolou da lajota de concreto adjacente, embora o material não tenha apresentado quebras ou fissuras.

3.9.2 Economia circular

A proposta do ECOPLASF auxilia para que o consumo saia de uma economia linear e adentre a uma iniciativa de Economia Circular (Figura 39), fazendo-se uma solução inovadora e sustentável para o reaproveitamento dos materiais base, ou seja, o plástico, isopor, vidro e a fibra de coco, que, após sua produção e consumo, seriam descartados e poluiriam o meio ambiente. Através do uso dos resíduos citados, o ECOPLASF transforma-os em pavimentos ecológicos, conhecidos como paver ecológicos. Esse processo é uma exemplificação de economia circular, em que, após o consumo desses materiais, eles são coletados, reciclados e reintegrados ao ciclo produtivo, gerando uma nova vida útil a eles.

**Figura 39 - Economia Circular do ECOPLASF**

Fonte: Autoria Própria, 2025.

O primeiro passo desse ciclo envolve a coleta dos resíduos, que muitas vezes são jogados fora após o uso, causando impactos ambientais negativos. No ECOPLASF, esses materiais são cuidadosamente processados e transformados em um novo produto: os pavers ecológicos. Esses pavers são desenvolvidos para atender às necessidades de pavimentação, mas com o benefício de serem mais sustentáveis, reaproveitando materiais que antes seriam descartados.

Após a produção, os pavers ecológicos podem ser aplicados em diversas áreas, como calçadas, jardins, áreas externas e até espaços públicos, substituindo materiais convencionais e que geram gases do efeito estufa, e proporcionando uma alternativa mais ecológica. Dessa forma, o ECOPLASF não apenas dá uma nova vida a esses resíduos, mas também contribui para a redução do desperdício e a diminuição dos impactos ambientais, promovendo um futuro mais sustentável para todos.

Isso pode contribuir significativamente para a geração de empregos ao criar uma cadeia produtiva (Figura 40) baseada na lógica da Economia Circular. Desde a coleta e triagem dos resíduos como plástico, isopor, vidro e fibra de coco, até o processamento e transformação desses materiais em pavers ecológicos, diversas oportunidades de trabalho são criadas em áreas como reciclagem, logística, operação de máquinas, controle de qualidade e construção civil. Dessa forma, o ECOPLASF promove não apenas a sustentabilidade ambiental, mas também o fortalecimento do mercado de trabalho e o incentivo ao empreendedorismo verde.



Figura 40 - Esquema para geração de empregos



Fonte: Autoria Própria, 2025.



4. CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento da proposta, pode-se observar avanços significativos na pesquisa, isto é, na primeira fase, a produção dos quatro protótipos demonstrou que massa asfáltica proposta pela equipe tem diversos pontos positivos, como a resistência mecânica, térmica e impermeabilidade, onde foram evidenciados pelos testes produzidos.

Para ampliar ainda mais os benefícios e suprir algumas lacunas deixadas, avançou-se para segunda fase, onde o projeto buscou a tentativa de minimizar possíveis efeitos a longo prazo, como os impactos ambientais gerados pelo uso de um solvente tóxico (thinner). Para isso, optou-se por utilizar um solvente orgânico atóxico, o D-limoneno, garantindo assim, preservação ambiental e a segurança à saúde maior às gerações futuras que forem contemplados com o resultado da pesquisa.

Assim, tem-se a visualização da capacidade e eficiência do preenchimento dos buracos e realização de paver ecológicos, devido aos resultados encontrados, com um produto que utiliza resíduos descartados incorretamente que são derivados do petróleo e tem um baixo custo de produção.

Em seguida na fase III, confirmou-se a viabilidade prática dos pavers ecológicos, com bom desempenho em testes reais de aplicação, mesmo sob tráfego de veículos pesados. A criação de um molde digital para impermeabilização também representou um avanço rumo à produção em larga escala, com mais padronização.

Além de sustentável, o ECOPLASF se mostra socialmente relevante, ao reaproveitar resíduos e incentivar a economia circular e a geração de empregos. Os próximos passos incluem o monitoramento contínuo dos pavers instalados, melhorias no processo produtivo e a preparação para inserção do produto no mercado.

De maneira geral, o ECOPLASF demonstra ser uma alternativa viável e sustentável aos materiais convencionais, pois representa uma contribuição significativa para a redução do impacto ambiental causado pela indústria da construção civil, além de ter um baixo custo de produção, a proposta apresenta um baixo custo de transporte e baixa emissão de gases por conta que o paver do projeto tem uma massa inferior a 1kg, assim fazendo com que o motor do veículo transportador precise de menos combustível por cilindrada, ou seja, lançando menos gases para o efeito estufa.

Dessa maneira, compreende-se que utilizar resíduos descartados e reduzir a dependência de materiais tradicionais, o projeto não apenas oferece benefícios

ambientais, mas também econômicos, tornando-se uma opção atrativa para investimentos futuros, como produzir uma máquina de aplicação própria, para produção em grande escala.



5. REFERÊNCIAS

ABNT. **Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, RJ. 2018. Disponível em: https://sistema.ceteclins.com.br/Uploads/PDF/02EFC338-1AD6-43C4-A394-978E2147E831_12062018120154.pdf. Acesso em: 12, mar, 24.

ACERTAR. **Cimento é um dos líderes na emissão de gases causadores do efeito estufa.** Tatuí, SP. 2016. Disponível em: <https://www.acertar.org.br/acertar/cimento-e-um-dos-lideres-na-emissao-de-gases-de-efeito-estufa/>. Acesso em: 24, set, 24.

AECWEB. **Bambu pode suportar carga superior à do próprio aço.** São Paulo, SP. 2023. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/bambu-pode-suportar-carga-superior-a-do-proprio-aco/9455>. Acesso em: 21, abr 24.

ANDRADE, Leandro; BAZITO, Reinaldo; FREIRE Renato. **Solventes alternativos.** São Paulo, SP. 2024. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4305483/mod_resource/content/1/QFL5931%20-%20Aula%20Solventes%20Alternativos%20v.2018.pdf . Acesso em: 28, abr 2024.

ARCURI, Arline; COSTA, Danilo; POSSEBON, José; KANASAWA, Kátia; TARDINI, Laura; CONSTANTINO, Léa; COSTA, Leila; CARDOSO, Luiza; GELBER, Marcia; YASSUDA, Nancy. INAMINE, Rosemary. **Efeitos da exposição ao benzeno para a saúde.** São Paulo, SP: Fundacentro, 2012. 52 p. (Série Benzeno, Fascículo 1). ISBN 978-85-98117-53-9. Disponível em: <http://renastonline.ensp.fiocruz.br/recursos/efeitos-exposicao-benzeno-saude-serie-benzeno-fasciculo>. Acesso em: 28, abr 2024.

AZEVEDO, Julia. **Bambu: tudo sobre o que você precisa saber sobre.** São Paulo, SP. 2024. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/bambu/>. Acesso em: 14, abr, 24.

BAENA, Antônio. **Água no solo.** Belém, PA. 1983. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/216651/1/Agua-no-solo.pdf>. Acesso em: 13, out, 24.

BANNACH, Gilbert; ALARCON, Rafael; DE OLIVEIRA, Arthur. **Impermeabilizante com polímero vinil-benzênico de alto brilho, antifúngico e de baixa toxicidade.** São Paulo, SP. 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/28f0e734-bf93-4358-8b14-84ea968e058f/content>. Acesso em: 23, abr, 23.

BIOPDI. **Ensaio de Compressão: Definição, Importância e Aplicações.** São Carlos, SP. 2023. Disponível em:



<https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-compressao/>. Acesso em: 24, mai, 23.

BLINDEX. **O que é vidro?** Belo Horizonte, MG. 2024. Disponível em: <https://www.blindex.com.br/-/media/blindex/site-content/downloads/ovidro.pdf>. Acesso em: 29, abr 2024.

BORJA, Patrícia. **Avaliação da qualidade ambiental urbana**. Salvador, BA. 1997. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/25943/1/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20qualidade%20ambiental%20urbana.pdf>. Acesso em: 5, abr, 2023.

CANTÃO, Luiza. **Plástico**. Sorocaba, SP. 2014. Disponível em: <https://www.sorocaba.unesp.br/#!/extensao/residuos-solidos/plastico/>. Acesso em: 29, abr 2024.

CARVALHO, Joyce. **População do Boqueirão sofre com ruas esburacadas**. Curitiba, PR. 2010. Disponível em: <https://www.tribunapr.com.br/noticias/parana/populacao-do-alto-boqueirao-sofre-com-ruas-esburacadas/>. Acesso em: 5, abr 2023.

COMITÊ BRASILEIRO DE CIMENTO, CONCRETO E AGREGADOS. **Concreto**

Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Goiânia, GO. 1998. Disponível em: https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%20NM%2067%20-%2098_aula.pdf#:~:text=determinar%20a%20consist%C3%Aancia%20do%20concreto%20fresco%20atrav%C3%A9s%20da. Acesso em: 23, jun, 24.

CORRADINI, Elisângela; ROSA, Morsyleide; MACEDO, Bruno; PALADIN, Priscila; MATTOSO, Luiz. **Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde**. São Paulo, SP. 2023. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbf/a/DQdC9ZVzgsndcvBjvGM4tNb/>. Acesso em: 24, mai, 23.

CORREIA, Alessandra. **Estudo diz que 20 empresas respondem por um terço de toda a emissão de CO2 no mundo; Petrobras está na lista**. São Paulo, SP. 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-49992174>. Acesso em: 24, set, 24.

DIKOKO. **Descubra os incríveis benefícios da fibra de coco na construção: resistência, durabilidade e estilo**. Fortaleza, CE. 2023. Disponível em:



<https://www.dikoko.com.br/descubra-os-incriveis-beneficios-da-fibra-de-coco-na-construcao-resistencia-durabilidade-e-estilo/>. Acesso em: 10, mar, 24.

DIMCLAY. **D-Limoneno**. São Paulo, SP. 2024. Disponível em: <https://www.dimclay.com.br/oil-clays/acessorios/d-limonene-500-mls-solvente>. Acesso em: 24, mai, 24.

DIVINAL VIDROS. **Como é feito o vidro?** São Paulo, SP. 2024. Disponível em: <https://www.divinalvidros.com.br/blog/como-e-feito-o-vidro-fabricacao>. Acesso em: 29, abr 2024.

ECOLOGIA. **O que são resíduos**. São Paulo, SP. 2024. Disponível em: https://ecologia.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/lixo_residuos.htm. Acesso em: 29, abr, 24.

ECYCLE. **Cimento: Origem, importância, riscos e alternativas**. São Paulo, SP. 2023. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/cimento/>. Acesso em: 10, jul 2023.

EMBRAPA. **Beneficiamento da casca de coco verde para a produção de fibra e pó**. Brasília, DF. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/33/beneficiamento-da-casca-de-coco-verde-para-a-producao-de-fibra-e-po>. Acesso em: 6, abr 2023.

EMBRAPA. **Organossolos**. Brasília, DF. 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/organossolos>. Acesso em: 29, abr 2024.

EMPRESACITY. **O que é Piso Intertravado de Concreto?** São Paulo, SP. 2024. Disponível em: <https://www.empresacity.com.br/o-que-e-piso-intertravado-de-concreto/>. Acesso em: 27, mai, 24.

EPS BRASIL. **O que é EPS?** São Paulo, SP. 2024. Disponível em: <https://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>. Acesso em: 30, abr 2024.

GOV.BR. **Cimento: produção pode ser menos agressiva ao ambiente**. Brasília, DF. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/assuntos/noticias/cimento-producao-pode-ser-menos-agressiva-ao-ambiente>. Acesso em: 27, mai, 24.

IPEA. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, DF. 2025. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/>. Acesso em: 5, fev, 25.



ISTO É DINHEIRO. **O concreto: terceiro maior emissor mundial de gases de efeito estufa.** São Paulo, SP. 2021. Disponível em: <https://istoedinheiro.com.br/o-concreto-terceiro-maior-emissor-mundial-de-gases-de-efeito-estufa/>. Acesso em: 24, set, 24.

Jabbour, Charbel; Santos, Fernando. **Desenvolvimento de produtos sustentáveis: o papel da gestão de pessoas.** São Paulo, SP. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/Tpp54sfh9NMpLVMYqkRvdkS/>. Acesso em: 25, abr, 2024.

JARDIM SECRETO. **Descubra a beleza das fibras naturais: veja produtos do Jardim Secreto.** São Paulo, SP. 2024. Disponível em: <https://blogjardimsecreto.com.br/fibras-naturais/> . Acesso em: 03, abr, 2024.

MADUREIRA, Letícia. **Misturas asfálticas: Conceituação, Materiais e Dosagem.** Brasília, DF. 2023. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/7689/4/M%c3%b3dulo%20%20-%20Dosagem%20de%20misturas%20asf%c3%a1lticas.pdf>. Acesso em: 12, ago, 23.

MAIS POLÍMEROS. **Polietileno (PE): conheça os tipos, as aplicações e as propriedades desta matéria-prima.** São Paulo, SP. 2019. Disponível em: <https://maispolimeros.com.br/2019/02/20/polietileno-pe/>. Acesso em: 15, jun 2023.

NUNES, Cássia. **Reciclagem.** São Paulo, SP. 2023. Disponível em <http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/infantil/reciclagem.htm>. Acesso em: 5, abr 2023.

PAVIMENTI. **TIPOS DE PAVER PAVIMENTI.** Palmas, PR. 2019. Disponível em: <https://www.pavimentiblocos.com.br/noticias/19/-tipos-de-paver-pavimenti>. Acesso em: 27, mai, 24.

PONSONI, Lara. **UTILIZAÇÃO DO D-LIMONENO COMO UM SOLVENTE NATURAL PARA A CONFECÇÃO DE UM COMPÓSITO DE MDF.** Criciúma, SC. 2022. Disponível em: <https://repositorio.satc.edu.br/jspui/handle/satc/458>. Acesso em: 24, abr, 24.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **O que é sustentabilidade?** Brasília, DF. 2023. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/sustentabilidade/>. Acesso em: 25, abr, 2024.



SANÁBIO, Laura. **Produtos sustentáveis: quais são os melhores exemplos?** Juiz de fora, MG. 2022. Disponível em: <https://blog.trocafone.com/produtos-sustentaveis-exemplos/>. Acesso em: 25, abr, 2024.

SEBRAE. **O que é um produto sustentável?** Curitiba, PR. 2022. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-um-produto-sustentavel,5775438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 5, abr, 24.

SIMÕES, Kátia. **O desafio da reciclagem do plástico.** São Paulo, SP. 2022. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/esg/noticia/2022/09/o-desafio-da-reciclagem-do-plastico.ghtml>. Acesso em: 5, abr 2023.

SOLVEN. **Qual a diferença de thinner e solvente?** Campinas, SP. 2017. Disponível em: <https://solven.com.br/informacao/qual-diferenca-thinner-solvente/>. Acesso em: 30, abr 2024.

SOUZA, Lucas. **Derreter isopor na acetona é possível?** Pampa, RS. 2017. Disponível em: <https://sites.unipampa.edu.br/pibid2014/files/2017/08/reacoes-quimicas-com-isopor-lucas-fagundes-de-souza.pdf>. Acesso em: 27, mai, 24.

TECNOPEÇAS. **O que é polietileno expandido?** Indaiatuba, SP. 2021. Disponível em: <https://tecnopecas.com.br/o-que-e-polietileno-expandido/>. Acesso em: 15, jun 2023.

TEIXEIRA, Julio. **Sustentabilidade: o que é, como funciona, benefícios e exemplos.** São Paulo. 2023. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/sustentabilidade>. Acesso em: 25, abr, 2024.

TERMOTÉCNICA. **EPS – Poliestireno Expandido.** Joinville, SC. 2019. Disponível em: <https://www.termotecnica.ind.br/eps-poliestireno-expandido/>. Acesso em: 15, jun 2023.

UNIVASF. **Microplástico: um dos principais problemas dos oceanos.** Petrolina, PE. 2019. Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/microplastico-um-dos-principais-poluentes-dos-oceanos>. Acesso em: 15, fev 24.

USP. **Máquina de Tração – Bioengenharia.** Ribeirão Preto, SP. 2024. Disponível em: <https://emu.fmrp.usp.br/equipamentos/categoria3/emic-dl10000/>. Acesso em: 1, abr, 24.

VALORIZA AMBIENTAL. **Impactos Ambientais de Resíduos Industriais.** Campinas, SP. 2024. Disponível em:



<https://valorizaambiental.com/impactos-ambientais-de-residuos-industriais/>. Acesso em: 27, abr, 24.

VILELA, Ricardo. **Estudos laboratoriais para determinação do comportamento mecânico de uma mistura dosada pelo método Marshall**. Goiânia, GO. 2018.

Disponível em:
https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/ESTUDOS_LABORATORIAIS_PARA_DETERMINAÇÃO_DO_COMPORTAMENTO_MECÂNICO_DE UMA_MISTURA_DOSADA_PELO_MÉTODO_MARSHALL.pdf.
Acesso em: 27, abr 2023.

VOGELSANGER. **O QUE É PAVER NA ENGENHARIA CIVIL E PORQUE USAR**.

Joinville, SC. 2022. Disponível em:
<https://britagemvogelsanger.com.br/geral/o-que-e-paver-na-engenharia-civil/>. Acesso em: 24, abr, 24.

WWF. **Impactos ambientais do petróleo pressionam o setor para a energia limpa**. Brasília, DF. 2022. Disponível em:
<https://www.wwf.org.br/?84444/impactos-ambientais-do-petroleo-pressionam-o-setor-para-a-energia-limpa>. Acesso em: 24, set, 24.

6. APÊNDICE

file:///C:/Users/mceci/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/GSJY1CER/Modelo-de-artigo-FICSesi[112695][1].pdf