



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA (CT)
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ENGENHARIA CIVIL

MARIA HELENA CARVALHO LEMOS

**ANÁLISE DE DESEMPENHO E DURABILIDADE DE REVESTIMENTO COM
ARGILA E RESÍDUO DE POLIETILENO E POLIPROPILENO**

João Pessoa - PB
Novembro de 2024

MARIA HELENA CARVALHO LEMOS

**ANÁLISE DE DESEMPENHO E DURABILIDADE DE REVESTIMENTO COM
ARGILA E RESÍDUO DE POLIETILENO E POLIPROPILENO**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil, na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Cibelle Guimarães Silva Severo

João Pessoa

2024

CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L557a Lemos , Maria Helena Carvalho
Análise de desempenho e durabilidade de revestimento com argila
e resíduo de polietileno e polipropileno. / Maria Helena Carvalho
Lemos.- João Pessoa, 2024.

63f. : il.

Orientação: Cibelle Guimarães Silva Severo. TCC
(Graduação) – UFPB/CT.

1. Impacto ambiental 2. solo-cimento 3. polímero I. Severo,
Cibelle Guimarães Silva II. Título.

UFPB/CT

CDU: 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIA HELENA CARVALHO LEMOS

ANÁLISE DE DESEMPENHO E DURABILIDADE DE REVESTIMENTO COM ARGILA E RESÍDUO DE POLIETILENO E POLIPROPILENO

Cibelle Guimarães S. Severo

Aprovado

Cibelle Guimarães Silva Severo

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

APROVADO

Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

Universidade Federal da Paraíba

José Augusto Gomes Neto

APROVADO

José Augusto Gomes Neto

Universidade Federal da Paraíba

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente à Deus que até aqui me sustentou, sempre fazendo sua vontade acima da minha (assim na terra como no céu), que sempre transcendeu aquilo que eu almejava; ao meu anjo que me guardou, me governou e me iluminou, e à Santa Maria que intercedeu por mim durante todo meu trajeto.

Ao meu irmão Filipe Carvalho, que sem ele nada disso seria possível, o qual doou seu tempo e seus cuidados, sendo primordial para que eu conseguisse fazer mil coisas ao mesmo tempo, me dando conforto físico e emocional, sendo meu maior suporte durante toda minha jornada desde que me mudei para longe dos meus pais.

Agradecer aos meus pais, Deluciano Lemos e Juberlita Carvalho, que me deram todo apoio e torceram por mim, acreditando no meu potencial mesmo quando eu não acreditava, e me deram forças quando eu não tinha mais.

À Amanda Ferreira, Erick Silva e Fernanda Vasconcelos que estiveram comigo desde 2017 nessa caminhada, errando e aprendendo junto comigo, e se tornando como família. Concluir o curso sem eles teria sido mil vezes mais difícil.

Aos que chegaram no meio da caminhada, Larissa Gomes, Letícia Lopes, Igor Vidal, Rayane Lemos, Michael Kenneth, Adriano Bezerra, Jânio Emerson, Mateus Loura, Genilson Gomes, Arauana Lima, Lucas Felix, Igor Ferraz, Evelyn Barbosa e Gesiel Gomes, toda minha gratidão por terem me sustentado e dividido as alegrias, tristezas e sufocos, jamais serão esquecidos.

Às minhas amigas de infância, Najara Lígia e Alícia Sabino, que me viram crescer e estiveram comigo em todas as fases, sempre companheiras e leais, torcendo por mim como se minha vitória fosse a delas.

Aos meus tios e tias que me trataram como filha, com todo amor e cuidado do mundo. À professora Cibelle que aceitou me orientar mesmo estando lotada de alunos sob sua supervisão, e ao professor Ricardo Dutra que me escolheu para iniciar essa pesquisa em 2023.

Sem o apoio de vocês, eu não chegaria aqui. Meu muito obrigada!

Resumo

A indústria da construção civil consome uma quantidade significativa de recursos naturais. Tanto os materiais plásticos quanto os resíduos gerados pelo setor da construção civil apresentam uma decomposição natural muito lenta. Diante disso, é essencial adotar medidas que minimizem o impacto ambiental causado por esses materiais. Neste trabalho, foi utilizada uma mistura de resíduo polimérico industrial, advindo da empresa Plastex, contendo polietileno, polipropileno e outras impurezas, para a produção de uma argamassa. Essa argamassa foi elaborada a partir de um material de solo-cimento compactado, similar aos blocos de terra compactada (BTC) ou tijolos ecológicos. Foram empregados dois tipos de solo: um com características plásticas, denominado solo A, e outro sem plasticidade, chamado solo B. O objetivo foi produzir placas para revestimento, utilizando a menor quantidade possível de cimento, limitando-se a 6% da massa do solo, através do processo de compactação. Inicialmente detectou-se uma maior presença de argila e silte no solo A e uma maior incidência de areia fina no solo B, com presença de quartzo e minerais da família dos feldspatos em ambos; quanto ao resíduo, foi realizada a granulometria para retirar as impurezas, utilizando para fabricação dos corpos de prova partículas de polímero na faixa entre 0,425 mm e 0,18 mm, cuja análises térmicas indicaram a resistência dos polímeros até uma temperatura de 160 °C. Após análise da natureza dos materiais, definiu-se os traços T_0 (60% solo A, 40% solo B), T_1 (40% solo B e 60% solo A) e T_2 (20% solo A e 60% solo B), o teor de água (10%) e as porcentagens de polímero, sendo 0%, 5%, 10%, 20% e 30%. A análise térmica do polímero indicou que com relação à exposição ao sol, seria possível aplicar o material em ambientes externos; a análise da densidade mostrou que quanto maior a incidência de polímero, mais leve o produto se torna; a resistência à flexão indicou uma perda do desempenho com adição de polímero e solo B; a análise do deslocamento durante o teste de flexão indicou que 30% de resíduo com uma maior incidência de solo A possui uma melhor capacidade de deformação; a imersão em água comprovou que a quantidade de cimento foi insuficiente para evitar a absorção de água pelas amostras; o teste de chuva dirigida indicou que a composição com maior quantidade de solo B e maiores quantidades de resíduo possuem maior resistência a segregação das partículas na presença de umidade e por fim, a análise ao meio ambiente mostrou que no período de 1 mês (sem chuva) os corpos de prova com adição de polímeros se mantiveram intactos, sendo T_2 com 20% de resíduo o que mostrou melhor desempenho.

Palavras-chave: Impacto ambiental; solo-cimento; polímero.

Abstract

The construction industry consumes a significant amount of natural resources. Both plastic materials and waste generated by the construction sector decompose very slowly. Therefore, it is essential to adopt measures that minimize the environmental impact caused by these materials. This study used a mixture of industrial polymer waste from Plastex, containing polyethylene, polypropylene, and other impurities, for the production of mortar. This mortar was developed from a compacted soil-cement material, similar to compressed earth blocks (CEBs) or eco-bricks. Two types of soil were employed: one with plastic characteristics, referred to as soil A, and another without plasticity, called soil B. The objective was to produce panels for cladding, using the least amount of cement possible, limited to 6% of the soil mass, through a compaction process. Initially, a higher presence of clay and silt was detected in soil A, while soil B showed a greater incidence of fine sand, with quartz and feldspar minerals present in both. For the waste, a particle size analysis was conducted to remove impurities, using polymer particles in the range of 0.425 mm to 0.18 mm for the preparation of test specimens. Thermal analyses indicated that the polymers resist temperatures up to 160 °C. After analyzing the nature of the materials, the mixes were defined as T_0 (60% solo A, 40% solo B), T_1 (40% solo B e 60% solo A) e T_2 (20% solo A e 60% solo B), with a water content of 10% and polymer percentages of 0%, 5%, 10%, 20%, and 30%. The thermal analysis of the polymer indicated that it could be applied in outdoor environments with respect to sun exposure. The density analysis showed that the higher the polymer content, the lighter the product became. The flexural strength indicated a performance loss with the addition of polymer and soil B. The displacement analysis during the flexural test indicated that a mix with 30% waste and a higher incidence of soil A had better deformation capacity. The immersion in water demonstrated that the amount of cement was insufficient to prevent water absorption by the samples. The directed rainfall test indicated that the composition with a higher amount of soil B and greater quantities of waste had greater resistance to particle segregation in the presence of moisture. Finally, the environmental analysis showed that over a period of one month (without rain), the test specimens with added polymers remained intact, with T_2 containing 20% waste showing the best performance.

Keywords: Environmental impact; soil-cement; polymer.

Lista de Figuras

Figura 1: (a) Cadeia linear (b) Cadeia ramificada	14
Figura 2: Unidade repetida de polietileno e polipropileno, respectivamente.....	15
Figura 3: Ensaio de desempenho conforme aplicação	18
Figura 4: Movimento de flexão devido forças externas	19
Figura 5: Impacto sobre a parede	22
Figura 6: Estrutura flexionada	23
Figura 7: Fluxograma do processo de fabricação, teste e análise dos corpos de prova	32
Figura 8: Ensaio para determinação da umidade ótima.....	26
Figura 9: Processo de fabricação dos corpos de prova.....	27
Figura 10: Teste de flexão	29
Figura 11: Esquema do dimensionamento do corpo de prova.....	29
Figura 12: Deslocamento na flexão	30
Figura 13: Simulação da chuva dirigida ‘	31
Figura 14: Teste da chuva dirigida sendo executado	31
Figura 15: Granulometria dos materiais utilizados	33
Figura 16: DRX do Solo A indicando a presença de quartzo (Q) e Sanidina (S).....	35
Figura 17: DRX do solo B indicando presença de Quartzo (Q) e Microlina (M).....	36
Figura 18: DRX do cimento, indicando a presença de óxido cálcio e silício (OCS) e cálcio, magnésio, alumínio, ferro e silicatos (CMA).....	37
Figura 19: TG, DTG e DTA do resíduo polimérico	37
Figura 20: Densidade dos corpos de prova	39
Figura 21: (a) Módulo de ruptura do traço T0. (b) Módulo de ruptura do traço T1. (c) Módulo de ruptura do traço T2.....	40
Figura 22: Tensão de ruptura aos 28 dias de idade dos corpos de prova.....	41
Figura 23: Partículas de polímero.....	42
Figura 24: Análise de deslocamento na flexão: (a) Deslocamento em T0 (b) Deslocamento em T1 (c) deslocamento em T2.....	44
Figura 25: Corpos de prova após imersão em água por 24 horas.....	45
Figura 26: Corpos de prova antes do ensaio de chuva dirigida.....	46
Figura 27: Amostra 0% T1 após ensaio de chuva dirigida.....	47
Figura 28: Amostra 30% T2 após ensaio	48
Figura 29: Amostra 20% T2 após ensaio	48

Figura 30: Amostras com diferentes frações de Solo A e Solo B.....	49
Figura 31: Amostras com diferentes frações de argila/areia	49
Figura 32: Aderência entre substrato e polímero.....	51
Figura 33: Microfissura em amostra referência.....	52

Sumário

1.0 INTRODUÇÃO	11
2.0 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral:.....	13
2.2 Objetivos específicos:.....	13
3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Polímeros: Polipropileno (PP) e Polietileno (PE)	14
3.2 Materiais de revestimento e acabamento.....	15
3.3 Impacto da produção e má gestão dos plásticos no meio ambiente	19
3.4 Impacto da indústria da construção civil	20
3.5 Principais características dos solos com propriedades plásticas e não plásticas	22
4.0 METODOLOGIA.....	24
4.1 ANÁLISE DA NATUREZA DOS MATERIAIS	24
4.1.1 Análise granulométrica.....	24
4.1.2 Limite de Liquidez	24
4.1.3 Limite de plasticidade	24
4.1.4 Fluorescência a raio x (FRX) e difratometria de raios X (DRX)	25
4.2 Análise da natureza do polímero	25
4.2.1 Análise granulométrica.....	25
4.2.2 Termogravimetria (TG) e Taxa de Variação da Termogravimetria (DTG).....	25
4.2.3 Análise Térmica Diferencial (DTA)	25
4.2.4 Granulometria do resíduo polimérico	25
4.3 Dosagem	26
4.4 Produção dos corpos de prova e testes	27
4.4.1 Moldagem, desforma, e medição das dimensões	27
4.4.2 Densidade	28
4.4.3 Cura e Teste de flexão	28

4.4.4 Deslocamento na flexão	30
4.4.5 Absorção de água	30
4.4.6 Chuva dirigida	30
4.4.7 Resistência em meio ambiente	31
4.4.8 Análise microscópica.....	31
4.5 Programas utilizados para tratamentos de dados.....	32
5.0 RESULTADOS.....	33
5.1 Caracterização físico química.....	33
5.2 Análise da densidade.....	38
5.3 Análise de flexão.....	39
5.4 Análise de deslocamento na flexão	43
5.5 Absorção de água	45
5.6 Chuva dirigida.....	46
5.7 Resistência em ambiente externo e análise microscópica	49
6.0 CONCLUSÃO.....	53
7.0 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
8.0 BIBLIOGRAFIA	56

1.0 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é de suma importância para o desenvolvimento da sociedade, graças a ela, o ser humano consegue viver com mais conforto, facilidade e segurança, por meio de obras como rodovias, barragens, prédios cada vez mais altos e esbeltos de alto padrão etc. Contudo, junto com os avanços tecnológicos que impactou a construção civil ao longo dos anos, vê-se também a ampliação nos impactos ambientais.

Esses avanços são impulsionados pela alteração do estilo de vida da sociedade ao longo do tempo, que exige cada vez mais produtos duráveis, confortáveis e visualmente agradáveis, que se expande para demais indústrias. Segundo Pereira (2009), a produção em massa teve seu incremento na sociedade no século XIX com a Revolução industrial, e após a Segunda Guerra Mundial, economistas juntamente com o governo dos Estados Unidos visando impulsionar a economia, incentivaram um novo desdobramento econômico-social, onde a felicidade e o bem-estar estariam diretamente ligados ao consumo. Tal perspectiva ainda perpetua na atualidade, gerando grande conflito com relação ao meio ambiente, visto que essa nova forma de vida acaba gerando uma grande quantidade de resíduos e não leva em consideração a finitude da matéria prima.

Dessa forma, buscando amenizar os impactos causados na fabricação de materiais cerâmicos, cuja queima gera gases altamente tóxicos, principalmente devido a utilização dos combustíveis para liberação de calor, produzindo gases como o CO_2 (dióxido de carbono) que acarreta no efeito estufa (MEZQUITA et al., 2014), a utilização dos blocos de solo cimento – também conhecido como bloco de terra compactado (BTC) ou tijolo ecológico – vêm sido desenvolvido e aplicado em âmbito nacional e internacional, ganhando grande visibilidade nos últimos anos; contudo a problemática da geração de resíduos plásticos advindos de indústrias também necessita de meios de mitigar os impactos da produção em massa, principalmente quando se refere aos microplásticos, cuja captação no meio ambiente é extremamente difícil e impacta a natureza como um todo.

Portando, sabendo que os polímeros são materiais que possuem propriedades de resistência e durabilidade, o presente trabalho busca estudar a influência da adição de resíduo plástico industrial em blocos de solo-cimento, sendo esse resíduo coletado na empresa Plastex, localizada no município de João Pessoa-PB, onde tal material é produzido e descartado em grande quantidade diariamente, composto por polipropileno

(PP) e polietileno (PE) (além de outras impurezas, como areia), e utilização de solos com características plásticas e não plásticas, advindo do município de Santa Rita-PB, a fim de analisar as propriedades físicas e mecânicas conferidas às amostras estudadas, para determinar previamente a viabilidade da aplicação na construção civil, como material para produção de placas para revestimento de paredes, com o processo de fabricação mais simples possível mediante a necessidade.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Avaliar o comportamento físico e mecânico da adição de resíduo polimérico industrial em argamassas constituídas compostas por solos plásticos e não plásticos, visando à produção de placas de solo-cimento compactado para revestimento, utilizando um processamento produtivo simples e com baixo consumo energético.

2.2 Objetivos específicos:

- Formular diferentes proporções de mistura de resíduos plásticos com argamassa para identificar a composição ideal em relação ao comportamento mecânico.
- Analisar o desempenho da argamassa com diferentes dosagens de polímero, avaliando as propriedades mecânicas e durabilidade das placas desenvolvidas, por meio da análise de densidade, ensaio de flexão, análise de deformação, chuva dirigida e exposição ao meio ambiente externo juntamente com análise microscópica.

3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

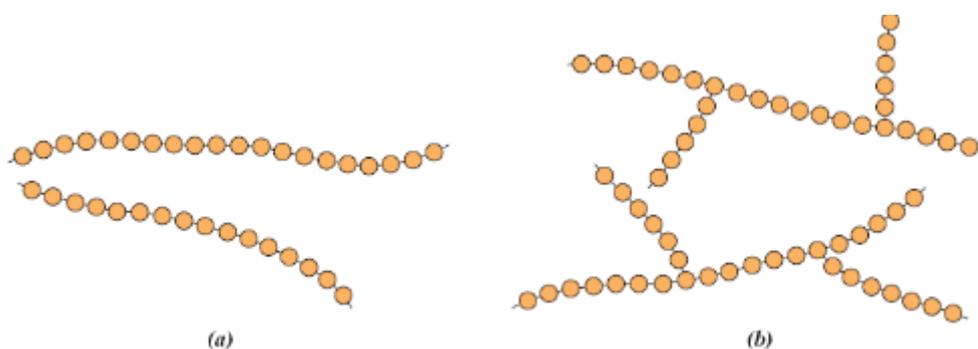
3.1 Polímeros: Polipropileno (PP) e Polietileno (PE)

A utilização de polímeros é característica da idade contemporânea. Historicamente, o primeiro elemento estrutural foi a madeira, seguido da pedra, depois vieram os metais, as cerâmicas, os vidros e só então, chegou-se ao polímero (MANO, 1991), que são compostos que podem ser de origem vegetal ou animal, formados por unidades químicas de grandes dimensões, que por sua vez, possuem unidades repetidas de meros em macromoléculas (AKCELRUD, 2007). Eles podem ser naturais, como a lã, seda e a borracha natural, ou sintéticos, como o polietileno, polipropileno, poliestireno, cloreto de polivinila, borracha sintética, nylon etc (PRIMO, 2022).

A matéria prima para a maioria dos polímeros sintéticos, é o Petróleo, produto da transformação da matéria orgânica. O petróleo possui hidrocarboneto em abundância, onde por meio do refino, obtém-se a nafta, que é um composto incolor e volátil, utilizado na fabricação de plásticos (ARRUDA, 2020).

Existe uma série de cadeias poliméricas, como lineares, cruzadas e ramificadas. O polietileno de alta densidade e o polipropileno possuem sua cadeia do tipo linear, já o polietileno de baixa densidade possui cadeia ramificada. Com relação à cristalinidade (que se refere a compactação das cadeias produzindo um arranjo ordenado, gerando mais resistência mecânica, à dissolução e ao amolecimento pelo calor), para polímeros lineares, a cristalização é obtida com facilidade, ao contrário das cadeias ramificadas, cujas ramificações interferem no processo de cristalização. Contudo, apesar de serem lineares, o PP e o PE formam na cristalização esferulitas, que são estruturas semicristalinas (CALLISTER JR, 2018).

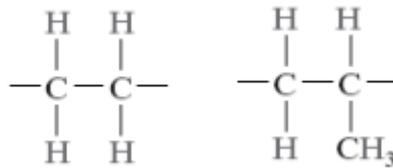
Figura 1: (a) Cadeia linear (b) Cadeia ramificada



Fonte: Callister JR, 2018

Com relação ao polipropileno e polietileno, ambos diferem pelo PP ter monômeros de propeno e o PE de eteno (Sander, 2010), como ilustra a Figura 2, que resulta no PP ter uma maior resistência à temperatura e ser mais rígido, tendo uma maior resistência à impactos, enquanto o PE é um polímero bastante flexível, muito utilizado em embalagens, filmes e tubulações (SOUZA, 2023), o PP por sua vez, é mais utilizado na fabricação de garrafas, peças automotivas, brinquedos, utensílios domésticos e etc (ALVARO, 2024).

Figura 2: Unidade repetida de polietileno e polipropileno, respectivamente



Fonte: Callister JR, 2018

Se tratando do comportamento mecânico, eles podem ser classificados como termoplásticos, termorrígidos e baroplásticos. Os termoplásticos tornam-se fluidos com a aplicação de temperaturas, sendo facilmente moldáveis nessas condições e recicláveis, pois reiniciam todo processo com aplicação novamente de temperatura; os termorrígidos, também conhecidos como termofixos, após aplicação de altas temperaturas, se tornam fluidos, porém, ao resfriar, formam ligações cruzadas e se solidificam, não havendo a possibilidade de reciclagem, pois ele se torna insolúvel e infusível; já os baroplásticos, o material com aumento da pressão se torna fluido, porém seu estado físico é borrachoso. O polipropileno (PP) e Polietileno (PE) são tipos de polímeros termoplásticos (CALLISTER JR, 2018)

De forma geral, os polímeros sintéticos são essenciais para a fabricação de materiais mais resistentes, leves, duráveis e de baixo valor monetário, contudo, são fonte de problemas ambientais pela demora na decomposição, falta de reciclagem e descarte inadequado.

3.2 Materiais de revestimento e acabamento

Na construção civil, há uma gama de materiais destinados ao revestimento e acabamento, cada um possuindo suas características de resistência e aparência, dentre eles pode-se citar: chapisco, emboço, reboco, pinturas à base de solvente e água, revestimentos de proteção como epóxi e poliuretano, tintas e vernizes, porcelanatos, azulejos, pedras, granitos, entre outros. Todos esses materiais causam impactos ao meio ambiente de forma negativa.

O chapisco, o emboço e o reboco são tipos de argamassas, cuja função é recobrir paredes, pisos e tetos, a fim de nivelar e promover uma estética harmoniosa no ambiente, estanqueidade e vedação (CARDOSO, 2009). Eles utilizam o cimento em grande quantidade em suas composições. Já as tintas são compostas por pigmento, solvente e resina; o solvente é responsável pela cor, proteção contra corrosão, impermeabilidade e outras características, o solvente dilui o material, e a resina é responsável pelo aglomeramento das partículas de pigmento. Dentre os diversos solúveis, o único que propicia salubridade é a água, todavia, nem todos os materiais são solúveis em água, o que gera a necessidade de utilizar solventes fabricados. As tintas podem receber também aditivos, de acordo com a característica necessária (MATOS, 2017).

Ainda sobre as tintas líquidas, seu principal impacto está relacionado aos compostos orgânicos voláteis, que são liberados durante o processo de secagem; eles reduzem a qualidade do ar e comprometem a saúde dos operários, por emitir à atmosfera hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, contendo halogênio, cetonas, ésteres, álcool, que resultam na produção de ozônio troposférico (UEMOTO *et al.*, 2006). O Ozônio é um dos gases responsáveis pelo efeito estufa, cujo efeito é o aquecimento global e retenção dos raios solares na atmosfera (MARTINS, 2001).

Outro material amplamente utilizado são os cerâmicos, que são materiais inorgânicos constituídos de metais e não metais unidos por ligações químicas, compostos principalmente por óxidos, silicatos, nitretos e alumínio, costumam apresentar elevada dureza, resistência mecânica e isolamento térmico, elétrico e acústico, porém são frágeis (BRITO, 2012). O termo cerâmica é derivado do grego “keramos”, que significa “terra queimada”, utilizado para se referir a um material solidificado pelo processo de queima (OLIVEIRA, 2006). Os impactos ambientais dos materiais cerâmicos repercutem durante todo processo de fabricação, pois inicia-se na extração da argila seguido da utilização de materiais para executar a queima, como madeira e óleo, gerando desmatamento e emissão de gases como CO_2 , NO_x e SO_2 , que são responsáveis pelo efeito estufa e chuva ácida (BARROS, 2013).

Dessa forma, se faz necessário a busca por materiais de revestimento que diminuam a extração de matéria prima, que reduzam a adoção de cimento, dispensem reações exotérmicas e eliminem a utilização de materiais que emitam compostos orgânicos voláteis – como as tintas líquidas -, para promover um ambiente sustentável e

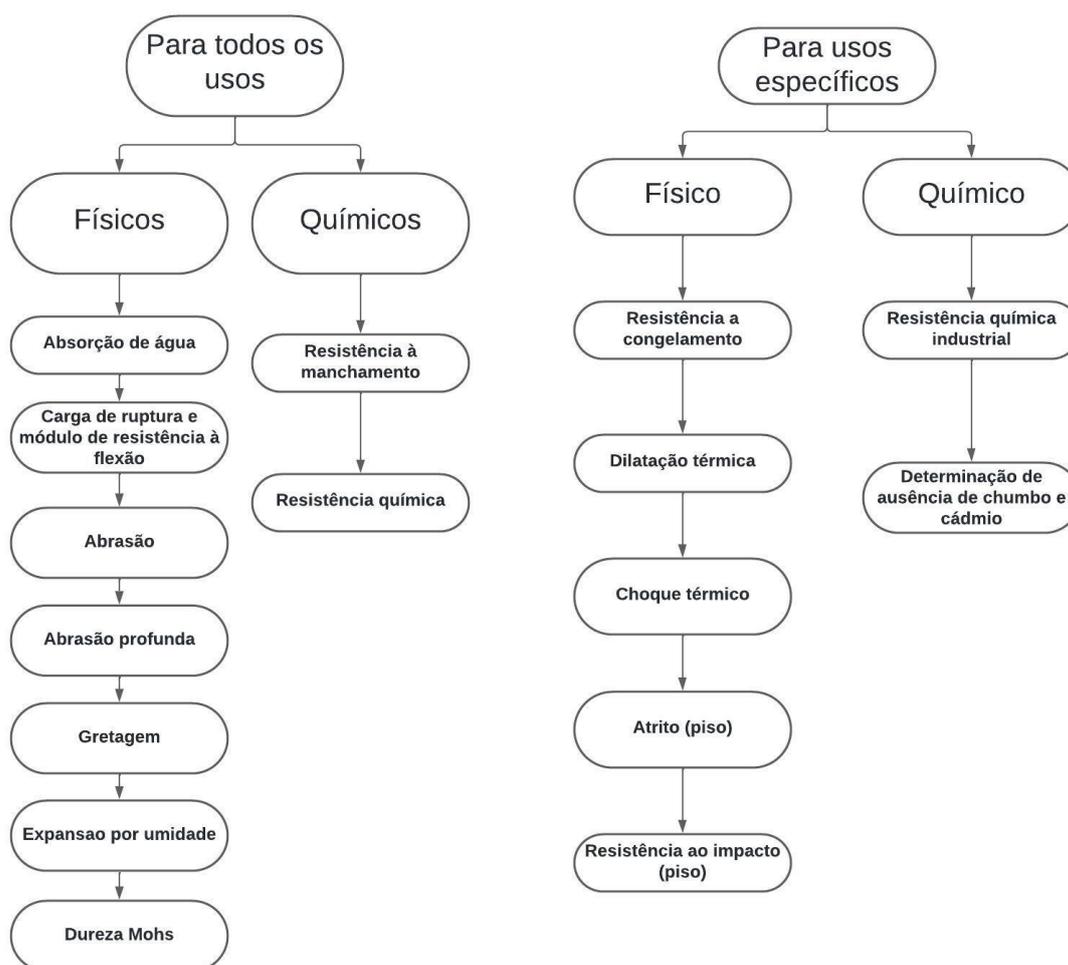
seguro para o trabalhador, porém que mantenha (ou melhore) os padrões de qualidade existentes.

Atualmente, há uma grande adesão na indústria da construção civil à utilização de materiais cerâmicos, por diversos fatores como: aplicação de diversas formas, auxilia na climatização, iluminação, resistência mecânica e baixa porosidade (CARVALHO; TIEPO, 2022). Há uma série de normas regulamentadoras que norteiam a aplicação de revestimento cerâmico, como a NBR 13.755:2017 que se trata de revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante;

As principais qualidades exigidas de um material de revestimento estão relacionadas a capacidade de não absorção de água, expansão térmica e resistência mecânica à flexão (OLIVEIRA, 2007). Segundo Carvalho e Tiepo (2022), a aplicação do material difere para ambientes internos e externos, sendo o segundo mais criterioso, pois necessita que seja resistente a temperaturas (tanto altas quanto baixas) detendo de baixa expansão à umidade, resistência à mancha, ataque químico e teste de gretagem.

A Norma de desempenho NBR ISSO 10.545:2020 determina os ensaios e testes que devem ser feitos conforme a utilização, por exemplo: existem os ensaios para uso geral, independente da aplicabilidade, e existem aqueles para uso específico, como os ensaios térmicos que devem ser adotados quando o revestimento for aplicado em lareiras ou em regiões frias, atrito e resistência à impactos, para a utilização em pisos e ensaios químicos para utilização em áreas em contato com alimentos e de uso antiácido. A Figura 3 ilustra os testes de desempenho exigidos pela norma citada:

Figura 3: Ensaio de desempenho conforme aplicação



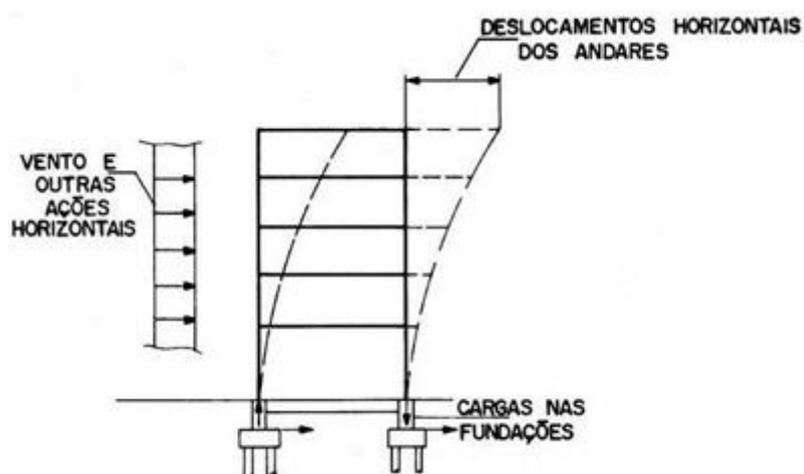
Fonte: Adaptado, NBR 13818:1997

Quanto a resistência, ela se altera conforme o tipo de material: os revestimentos cerâmicos ou de porcelanato podem resistir por dezenas de anos, enquanto a madeira pode chegar a 30 anos e vinil a 20. Esses valores podem variar conforme a exposição a intempéries e a manutenção adequada (GROVE, 2010).

Segundo Carasek (2007), dentre os fatores que mais causam deterioração nas argamassas cerâmicas de revestimento, pode-se citar os físicos-mecânicos, como retração plástica, movimentação da base e movimentação de origem higrotérmica; há também os processos químicos, como hidratação retardada do óxido de magnésio que gera empolamento e presença de pirita na areia; por último, tem-se os fatores biológicos, que se referem ao crescimento de microrganismos como fungos e desagregação devido a presença de umidade.

Além disso, tem-se também a arquitetura das edificações que vem mudando ao longo do tempo, se tornando cada vez mais esbeltas, além de vãos livres cada vez maiores, associado a isso, tem-se também a incidência de más técnicas construtivas, como a retirada prematura de escoras quando ainda é baixo o módulo de elasticidade das estruturas, resultando em um alto potencial de deformabilidade (CARASEK, 2007), cujas deformações são transferidas de forma direta para o revestimento que a priori não é projetado com o intuito de resistir a esses carregamentos (CAMACHO et al., 2016). Essas movimentações podem ser causadas pelo vento, choques e vibrações da estrutura de concreto, sendo o vento o principal causador desses deslocamentos (RIBEIRO, 2006). Essa turbulência, que pode não ser vista nem sentida, causa esforços de tração, compressão e tensão de cisalhamento nas camadas de revestimento, devido a flexão do edifício (MEDEIROS; SABBATINI, 1999).

Figura 4: Movimento de flexão devido forças externas



Fonte: AEAJC, 2019

3.3 Impacto da produção e má gestão dos plásticos no meio ambiente

A produção em larga escala dos plásticos no Brasil se deu principalmente em 1945 na Era Vargas, com a crescente industrialização, resultando no aumento da população, demanda de insumos e conseqüentemente mudança no estilo de vida (SOUZA *et al*, 2020), que resultou em uma maior geração e descarte de resíduos, de forma intencional ou não. Hoje a indústria do plástico se faz presente diariamente na fabricação de diversos produtos; pesquisas da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) apontam que por ano, há o consumo de 64 quilos por pessoa no Brasil de resíduo plástico, resultando em 13,7 milhões de toneladas (BOCHINI, 2023).

Apesar de haver maneiras de reutilizar alguns plásticos, essa cultura não é presente no cotidiano do brasileiro, e levando para uma escala industrial, um método aplicado para impulsionar a não geração de resíduos se trata da logística reversa, onde materiais são recolhidos e reutilizados, contudo, em um país que em 2022 contava com 346.105 indústria (IBGE, 2022), em dezembro de 2021, o Brasil apresentava apenas 399 empresas que se preocuparam em implementar esse tipo de sistema, estando a maioria na região sul (FIESC, 2021).

Os impactos ambientais são diversos, além da emissão de gases na atmosfera, sua degradação é extremamente demorada e até mesmo sua utilização fornece riscos à saúde humana, pois mesmo sendo uma opção para armazenamento de alimentos, o plástico libera uma substância chamada bisfenol que traz malefícios ao sistema endócrino (DUARTE, 2022). É importante salientar que o plástico leva cerca de 400 anos para se decompor (MPMT, 2021), e durante sua degradação, a exposição de alguns materiais como o polietileno (PE) à radiação solar, produzem gases que refletem no efeito estufa, como metano e etileno (ROYER *et al.*, 2018).

Em 2021, cerca de um terço de todo resíduo plástico produzido no Brasil se destinou aos oceanos (Gov.br, 2022), sendo esses materiais de todos os tipos, cores e tamanhos, cujos microplásticos são fonte de grande preocupação por parte dos órgãos de saúde e meio ambiente. Eles se referem a micropartículas com dimensões entre 0,001 mm e 5 mm, que podem ser fabricados de forma primária (de forma intencional pelas indústrias) ou secundária (resultante de intemperismos) (TREVISOL, 2020). Esses materiais são alarmantes pela dificuldade de retirá-los do meio ambiente e podem ser ingeridos por animais como peixes, e conseqüentemente parar no organismo humano por meio do consumo do animal.

3.4 Impacto da indústria da construção civil

A construção civil é uma indústria que consome matéria prima e emite resíduos para natureza de forma demasiada, sendo esse fluxo de matéria responsável pelo consumo de até 75% dos recursos naturais (CHAZALI, 2022), e dentre as inúmeras conseqüências desse fluxo de matéria - extração, utilização e descarte -, temos: alteração climática, aumento de gases e partículas em suspensão no ar, ruídos e propagações de vibrações, secas, enchentes etc (LEITE, 2014).

O Cimento por exemplo, é um dos materiais da construção civil mais utilizados no mundo, sendo sua produção executada em larga escala para atender a demanda, contudo esse aglomerante traz prejuízos ao ambiente durante toda sua cadeia produtiva, como a mineração no processo de extração e emissão de gás carbônico durante sua fabricação (LARUCCIA, 2014).

Os principais compostos do cimento é o calcário e a argila, que são extraídos da natureza por processos de mineração. O calcário é composto basicamente por bicarbonato de cálcio, e a argila por e silicatos de alumínio hidratados, óxidos de ferro, alumínio e silício (LIMA, 2011). Alguns pontos que se pode citar acerca da extração do calcário, são os impactos relacionados ao desmatamento da vegetação nativa, geração de rejeitos, migração da fauna local, erosão do solo, poluição sonora, e diminuição da qualidade da água local (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Com relação à argila, segundo Almeida (2020), são basicamente os mesmos danos causados pelo calcário citados anteriormente, contudo geralmente acontece próximo a leitos de rios e lagoas, que resultam no assoreamento, retirada da mata ciliar e compactação do solo próximo a eles. Todos esses danos ao meio ambiente transcendem a esfera da fabricação do cimento, e perpetua durante toda vida do material.

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/2010), os Resíduos da Construção Civil (RCC), são “os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis”. Tais resíduos são caracterizados pela dificuldade ou incapacidade de se decompor. Sua geração associada a má gestão acarreta não apenas em impactos ambientais, mas também físicos, econômicos e sociais, como poluição visual, emissão de poeira, atração de vetores, obstrução de tráfego urbano, galerias e bocas de lobo, destruição de calçadas, custo de manutenção e reparos em vias públicas, acidentes de trânsito, poluição do ar, alto custo com a limpeza do descarte em locais irregulares, atrativo para outros tipos de resíduo, entre outros (MARQUES *et al.*, 2004).

Há técnicas no Brasil para reciclagem de materiais advindos da construção civil, como a britagem e moagem para reutilização como agregado, separação magnética para obter materiais ferrosos, reciclagem da madeira, entre outros, mas ainda são processos alternativos pouco utilizados no país, por diversos fatores, como falta de apoio e incentivo dos órgãos públicos, falta de fiscalização nas triagens e disposição final dos materiais que

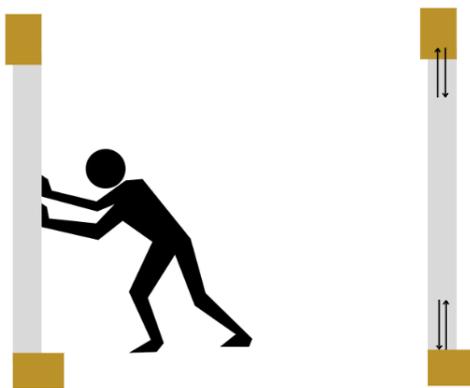
muitas vezes são descartados de forma incorreta, a tributação aplicada sobre os produtos desse setor, resistências culturais e desenvolvimento nas pesquisas e implementação na educação ambiental (LOPES, 2023).

3.5 Principais características dos solos com propriedades plásticas e não plásticas

Os materiais produzidos para revestimento ou com função estrutural, em geral, possuem solos com propriedades plásticas e não plásticas. As plásticas são responsáveis pela trabalhabilidade graças à capacidade de circuncional quando adicionado umidade, por haver coesão entre suas partículas. Já o solo não plástico, em contrapartida, não é maleável, geralmente utilizado para aferir as características de rigidez e resistência, melhorando a estabilidade e capacidade de carga do solo (HOLTZ, 2006). A união de ambas produz um material moldável e resistente, podendo ser matéria prima de tijolos e blocos ou revestimentos, por exemplo. A plasticidade do solo está diretamente ligada a presença de argilas (CAMPOS, 2013).

No que se refere a revestimento, a flexão é uma das principais características quanto às propriedades mecânicas, pois cargas são comumente aplicadas em seu corpo quando utilizados como revestimento, ou até mesmo há a dilatação/retração em decorrência de variações térmicas ou de umidade, fazendo com que ocorra as seguintes situações ilustradas na Figura 5:

Figura 5: Tipos de forças aplicadas em revestimento



Fonte: Autoral, 2024

Esses esforços acabam tendendo a gerar uma deformação na parede, conforme mostra a Figura 6, onde um lado sofre esforços de tração e o outro acaba sendo comprimido.

Figura 6: Estrutura flexionada



Fonte: Autoral, 2024

Segundo Bedford (2013), a flexão é definida como o efeito de uma força que gera tensões internas de tração e compressão. Esta deformação é causada pelo momento fletor. A flexão causa o “envergamento” do corpo. Contudo, os materiais cerâmicos possuem uma rígida rede cristalina, que implica em um material com grande solidez e resistência à compressão, porém com uma pequena resistência a flexão, pois sua reduzida capacidade de deformação plástica resulta em uma rápida propagação de microfissuras (Cullen, 2003).

Além disso, uma característica da argila é a propensão à absorção de água por efeito de capilaridade, enquanto solos arenosos a capilaridade apresenta uma altura de centímetros, em solos argilosos, pode possuir dezenas de metros (GOMES, 2016). Outro fator que influencia as características moleculares da argila, é a temperatura que pode causar mudanças na estrutura cristalina dos minerais argilosos, como desintegração ou formação de novos minerais, causando variação volumétrica, outrossim, ciclos muito acentuados de variação de temperatura podem incidir no surgimento de fissuras, em decorrência da constante alteração volumétrica (HUGHES, 1992).

Assim, a aplicação de argilominerais nas composições de argamassas não deve ser feita de forma indiscriminada, para evitar a manifestação de patologias em revestimentos por diversos motivos, como a quantidade de partículas finas que leva a um grande consumo de água, ausência de efeito cimentante, presença de álcalis e sais e quanto a alguns tipos de argilominerais que possuem variações cíclicas de volume como as montmorilonitas (CARASEK, 2007).

4.0 METODOLOGIA

O presente trabalho analisa o emprego de um material ecológico, composto por cimento, solo, água e adição de polímeros, para construção de placas de revestimento. O solo com propriedades plásticas e não plásticas foram extraídas no município de Santa Rita, enquanto o polímero foi obtido na indústria Plastex (que produz objetos domésticos, como cadeiras e mesas de plástico), localizada em João Pessoa, ambos no estado da Paraíba. Inicialmente, é fundamental identificar as características dos materiais, uma vez que vários fatores podem comprometer o resultado, como a presença de matéria orgânica, silte, argila e areia no solo, a quantidade de areia e demais resíduos misturados ao polímero e a granulometria de ambos (solos e polímero). Assim, foram realizados os seguintes testes em laboratório:

4.1 ANÁLISE DA NATUREZA DOS MATERIAIS

4.1.1 Análise granulométrica

A função deste procedimento é definir a distribuição do tamanho dos grãos do solo. Além disso, esse processo auxilia na segregação entre resíduo e polímero na mistura fornecida pela indústria Plastex. A análise foi conduzida seguindo a norma ABNT NBR-7181:2018 e foi realizada (para os solos) no Laboratório de Solos da UFPB, enquanto para o resíduo, foi executado pelo autor. A granulometria dos solos a ser utilizada, foi definida como passante na malha 40# (ABNT), correspondendo a diâmetros inferiores a 0,425 mm.

4.1.2 Limite de Liquidez

Esse parâmetro avalia a quantidade de umidade que a argila pode absorver antes de entrar no estado líquido, mantendo-se ainda em estado plástico. A análise foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR-6459:2017 e foi efetuada no Laboratório de Solos da UFPB.

4.1.3 Limite de plasticidade

Esse parâmetro mede a quantidade de umidade na qual o solo transita do estado plástico para o estado semissólido. O ensaio segue a norma ABNT NBR-7180:2016 e foi realizado no Laboratório de Solos da UFPB.

4.1.4 Fluorescência a raio x (FRX) e difratometria de raios X (DRX)

O FRX é empregado para identificar os elementos presentes no solo, incluindo possíveis poluentes, e suas proporções, enquanto o DRX avalia a estrutura mineralógica dos materiais. Ambos os ensaios serão realizados utilizando um difratômetro de Raios X, modelo XRD 6000 da Shimadzu. O equipamento opera com radiação Ka do Cu (40KV/30mA), tem uma velocidade de goniômetro de 2°/min, um passo de 0,02° e uma faixa de varredura de 3° a 55°.

4.2 Análise da natureza do polímero

4.2.1 Análise granulométrica

Utilizando as peneiras disponíveis em laboratório 10#, 20#, 30#, 40#, 80#, 120#, 170# e 200# (ABNT), e um agitador, 200g do material coletado na Plastex foi peneirado e posteriormente pesado o material retido em cada peneira, a partir disso - com a massa do material retido, passante e a massa total -, foi elaborada a curva granulométrica, a fim de determinar a incidência dos grãos, conforme o tamanho de suas partículas. Esse ensaio foi executado seguindo as normativas da NBR 7181:2018.

4.2.2 Termogravimetria (TG) e Taxa de Variação da Termogravimetria (DTG)

A TG é uma análise térmica que mede a variação de massa da amostra em função da temperatura, enquanto a DTG é a derivada da curva TG, mostrando a taxa de perda de massa com as mudanças de temperatura. Para realizar o teste, a amostra é primeiramente quarteada e, em seguida, analisada no equipamento TG/DTA HITACHI STA7300, localizado no Núcleo de Pesquisa em Engenharia de Materiais (NEPEM) da UFPB. As condições do teste incluem uma taxa de aquecimento de 10°C/min e um fluxo de gás de 50 mL/min, com a temperatura variando desde 30°C até 200°C, em uma atmosfera controlada.

4.2.3 Análise Térmica Diferencial (DTA)

Este procedimento mede a variação de temperatura entre uma amostra e uma referência enquanto ambas são aquecidas ou resfriadas sob condições térmicas iguais. As condições utilizadas foram idênticas às especificadas para o TG.

4.2.4 Granulometria do resíduo polimérico

A análise da curva granulométrica revelou que a maior parte do material estava na fração passante na malha 40# e retida na malha 80# (ABNT). Com base no volume

predominante de polímero e na semelhança de faixa com a argila, foram selecionadas as dimensões menores que 0,425 mm e maiores que 0,18 mm para uso.

4.3 Dosagem

Para fabricação de um material resistente, é necessário haver solo com características plásticas e não plásticas, sendo definidas composições variáveis para analisar a influência de cada um dentro do traço. O solo plástico será denominado como “A” e o solo não plástico será chamado de “B”. A *Portland Cement Association* (PCA, 1969) recomenda que a combinação ideal seja de 65% a 90% de areia e de 10% a 35% de silte e argila. Em contraste, a Associação Brasileira de Cimento Portland (1984) aponta que solos com mais de 85% de areia e menos de 20% de silte e argila enfrentam dificuldades durante o desmolde, resultando em uma maior fragilidade do material. Com isso, foram escolhidas e denominadas as seguintes frações:

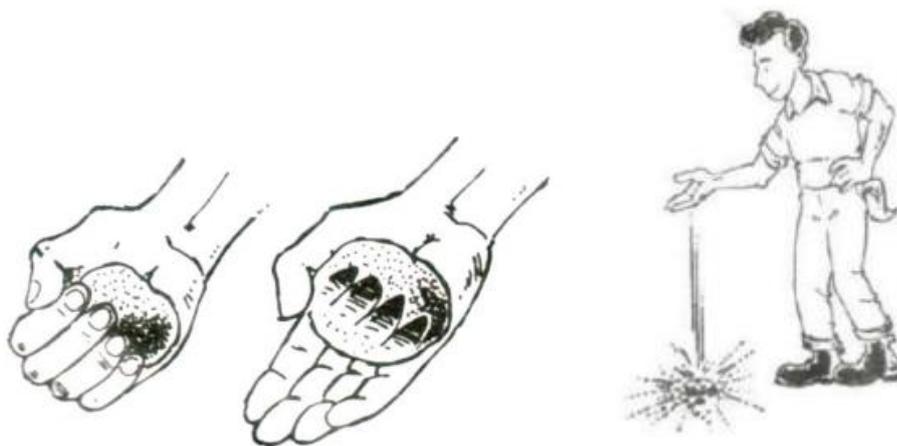
Tabela 1: Porcentagens de argila plástica e não plástica

Traço	Solo A	Solo B
T_0	60%	40%
T_1	40%	60%
T_2	20%	80%

Fonte: Autoral, 2024

O teor de umidade foi determinado conforme bibliografias, Dantas *et al.* (2014) utilizou em seus estudos 9,20%, Lourenço (2002), sugeriu valores entre os 9% e 17% para o teor de umidade, Bahar *et al.* (2004) induz valores entre 9.5% e 11%. Riza *et al.* (2010) definiu um intervalo ótimo de 10 a 13%. Para este trabalho, foi escolhido 10% da massa total de solo, pois além das indicações bibliográficas, foi realizado o teste do bolo, como ilustra a Figura 8.

Figura 7: Ensaio para determinação da umidade ótima



Fonte: Adaptado (TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999)

Tal ensaio auxilia de forma prática na identificação da quantidade ótima de água da amostra da seguinte forma: pega-se o solo com as mãos e tenta moldá-lo no formato de uma bola: se escorrer pelos dedos significa que tem muita umidade, caso se esfarele ou fique muito sólida, onde ao jogar no solo ele se quebre, significa que há pouca incidência de água; se formar uma bola, ao amassar ele mantenha o formato dos dedos e ao arremessar no chão ele se disperse, significa que a umidade está ótima.

Quanto ao teor de cimento, a ABCP (2009) recomenda uma porcentagem de cimento que varia de 5% a 10%. Inicialmente foi escolhido na proporção 1:7, contudo, no decorrer do processo viu-se a necessidade de diminuir a dosagem dele, adotando 6% da massa total de solo. Além disso o cimento escolhido foi o CP V, pois dentre os demais, ele possui alta resistência inicial.

Com relação ao resíduo, foram inicialmente escolhidas porcentagens de alto teor com o intuito de analisar o comportamento frente à altas adições, sendo elas 10%, 20% e 30%, posteriormente, foram realizados testes cujo teor foi de 5%.

4.4 Produção dos corpos de prova e testes

4.4.1 Moldagem, desforma, e medição das dimensões

Todo o agregado é misturado até atingir uma massa uniforme. Em seguida, metade da água é adicionada e a mistura resultante é deixada em repouso por 24 horas antes da prensagem, essa prática provoca a desagregação das partículas de argila, facilitando a incorporação da água durante a preparação, resultando em melhorias significativas na plasticidade da massa, além de promover uma maior homogeneização da umidade (WIECK; FH, 2013); após repouso, a mistura é adicionada ao ligante e a metade remanescente de água para início da etapa de pesagem que é realizada utilizando uma prensa hidráulica manual MPH-30, com capacidade de até 30 toneladas. Para moldar os corpos de prova, uma carga de 3 toneladas é aplicada sobre um molde metálico de dimensões 20 mm x 60 mm, conforme ilustrado na figura 9. Para evitar que a mistura grude ao molde, o molde é previamente untado com óleo mineral. A desforma é feita no mesmo equipamento, aplicando apenas a carga necessária para que o corpo de prova se solte do molde.

Figura 8: Processo de fabricação dos corpos de prova



Fonte: Autoral, 2024

Após a moldagem, são medidas as dimensões (base, altura e largura) com auxílio de um paquímetro digital, anotando todas as casas decimais para garantir resultados precisos.

4.4.2 Densidade

Densidade é a relação existente entre a massa e o volume de um corpo. Para tal análise, foi realizada a pesagem dos corpos de prova após a conformação e medidas suas dimensões de altura, largura e comprimento, esses valores foram aplicados na Equação I:

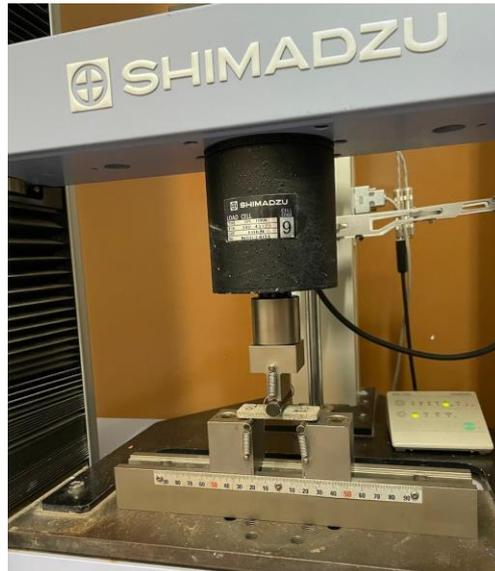
$$D = \frac{m}{C \times L \times H} \quad (\text{Equação I})$$

em que, D é a densidade, sendo expressa em kg/m^3 , C é o comprimento, L a largura e H a altura.

4.4.3 Cura e Teste de flexão

A cura das pastilhas é feita à temperatura ambiente, e os testes são realizados em 7 dias, 14 dias e 28 dias de vida das amostras, na máquina Shimadzu SPL-10 KN, com uma velocidade de aplicação de 5 mm/min, como mostra a Figura 10.

Figura 9: Teste de flexão



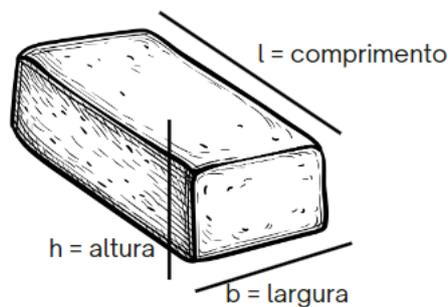
Fonte: Autoral, 2024

O resultado do teste de flexão fornece a deformação e a força que a amostra suportou. Como o molde apresenta algumas imperfeições, as dimensões de altura não são constantes ao longo do corpo de prova, sendo necessário medir novamente com auxílio de paquímetro eletrônico as dimensões da área de ruptura para poder calcular a tensão naquela seção, utilizando a Equação II.

$$\sigma = \frac{3F_{m\acute{a}x}l}{2bh} \quad (\text{Equa\c{c}\~ao II})$$

Onde σ é a tensão de ruptura, $F_{m\acute{a}x}$ é a força obtida no teste de flexão, l é o comprimento do corpo de prova, b e h são a largura e altura da seção de ruptura, respectivamente, como ilustra a Figura 11.

Figura 10: Esquema do dimensionamento do corpo de prova

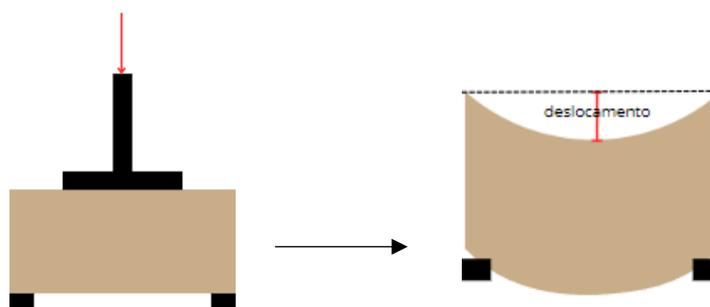


Fonte: Autoral, 2024

4.4.4 Deslocamento na flexão

O deslocamento se refere a quanto o corpo de prova se deforma antes da ruptura. Ele foi calculado pelo próprio equipamento que realizou os testes de flexão, durante a execução do ensaio. Foram fornecidos os valores de máximo deslocamento em milímetros.

Figura 11: Deslocamento na flexão



Fonte: Autoral, 2024

4.4.5 Absorção de água

A absorção de água é um fator que analisa a porosidade do material. Para esse teste, os corpos de prova foram colocados em estufa a 50 °C (em decorrência da fragilidade do PP e PE à altas temperaturas) por 24 horas e em seguida foram submersos em água também pelo período de 1 dia. O teste visa analisar a massa da amostra saturada com relação à massa seca pela seguinte fórmula:

$$A\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (\text{Equação III})$$

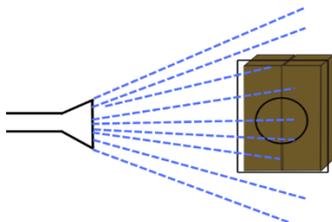
Onde A% é a porcentagem de água absorvida pela pastilha, m₂ é a massa saturada e m₁ é a massa seca. Conforme a norma de desempenho NBR 8492:2013, a absorção máxima deve ser 20% para valores médios e 22% para valores individuais.

4.4.6 Chuva dirigida

Utilizando duas pastilhas com dimensões de 60 mm x 20 mm aproximadamente cada, unidas por uma cola com alto poder de fixação, foi colocado uma “placa” plástica transparente, com um círculo possuindo diâmetro de 2 cm centralizado. A placa de plástico foi colada ao conjunto de pastilhas utilizando a mesma cola citada anteriormente, de forma a proteger as extremidades do corpo de prova, expondo apenas um pequeno espaço central, o qual terá acesso direto a água da chuva dirigida. Inicialmente o equipamento foi adaptado, por meio de soldagem de algumas partes metálicas, para

executar o suporte do material a ser testado. O chuveiro conta com 37 furos e a pressão da água não pôde ser determinada pois o manômetro do equipamento estava com defeito. O teste durou até cada corpo de prova sofrer rompimento, sendo checado a cada 10 minutos o estado do material. As Figuras 13 e 14 ilustram a execução do ensaio:

Figura 12: Simulação da chuva dirigida



Fonte: Autoral, 2024

Figura 13: Teste da chuva dirigida sendo executado



Fonte: Autoral, 2024

4.4.7 Resistência em meio ambiente

Para analisar o comportamento das pastilhas em meio ambiente, foram colocados 3 corpos de prova de cada composição, com idades acima de 28 dias de vida, em ambiente externo, de modo que fiquem expostos a insolação, chuva e vento, por um período de aproximadamente 1 mês, enquanto isso, outros corpos de prova foram mantidos em ambiente controlado sem interferência de fatores ambientais, para no final, analisar se houve perda de massa ou ganho de umidade.

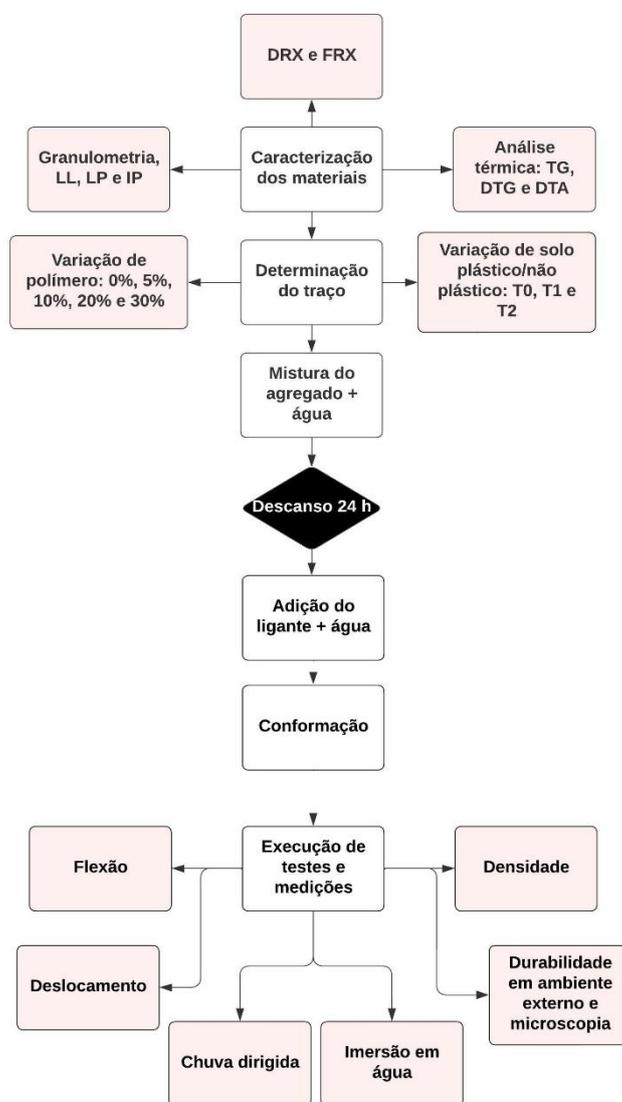
4.4.8 Análise microscópica

Foi realizada uma análise microscópica para analisar a interação entre o substrato e as partículas de polímero, além do estado físico após exposição em ambiente externo, no Laboratório de Metais da Universidade Federal da Paraíba, utilizando a lente 10 x. Os corpos de prova utilizados foram selecionados conforme desempenho no ensaio de chuva dirigida: o que obteve pior desempenho e aquele que se mostrou mais eficiente.

4.5 Programas utilizados para tratamentos de dados

Foram utilizados os programas Xpert (Highscore Plus) para tratar os dados do ensaio de DRX e Python para traçar os demais gráficos.

Figura 14: Fluxograma do processo de fabricação, teste e análise dos corpos de prova



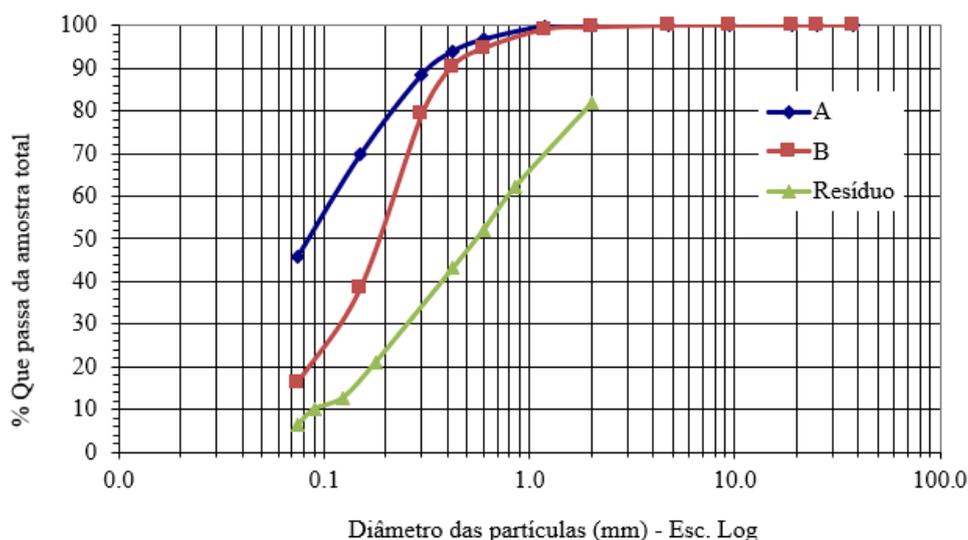
Fonte: Autoral, 2024

5.0 RESULTADOS

5.1 Caracterização físico química

O resultado da análise granulométrica é exposto na Figura 15, cujas retas demonstram a granulometria do solo A e B e do resíduo utilizado:

Figura 15: Granulometria dos materiais utilizados



Fonte: Autoral, 2024

De acordo com a definição dos solos conforme a granulometria descrita na NBR 6502/2022 (porém utilizando as peneiras disponíveis em laboratório), para o solo A, foi obtida um resultado de 0% de pedregulho, 6% de areia grossa, 48% de areia fina e 46% de silte e argila, já para o solo B, obteve-se um resultado de 0% de pedregulho, 9% de areia grossa, 74% de areia fina e 16% de silte e argila. Comparando os dois solos, vemos que a incidência de areia é maior no solo B e a presença de silte e argila é mais presente no solo A, como era de se esperar, pois as características de plasticidade ocorrem devido a presença de argila na composição do material. Além disso, a granulometria do resíduo apresentou uma maior incidência de grãos nas dimensões menores que 0,425 mm e maiores que 0,18 mm, sendo eles passante na malha 40# e retira na malha 80#. Pela NBR 6502/22, essa granulometria caracteriza a presença de areia fina, contudo, visualmente pôde-se perceber a predominância de polímeros.

A partir disso, foram analisadas as características do solo quanto ao limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP), como mostra a Tabela 2:

Tabela 2: LL, LP e IP das amostras de solo

	Solo A	Solo B	T_0	T_1	T_2
Limite de Liquidez (%)	31,10	NL	28,10	26,20	NL
Limite de plasticidade (%)	24,10	-	20,50	20,90	-
Índice de plasticidade (%)	7,0	NP	7,60	5,30	NP

Fonte: Autoral, 2024

Sabendo que quanto maior a incidência de areia e silte, menor as propriedades plásticas do solo e da mistura, observa-se que o Solo A possui um índice de plasticidade de 7%, enquanto o Solo B e T_2 (que possui 80% de Solo B) não indicam nenhum valor referente a plasticidade, pela predominância de areia em sua composição, como apontado na análise granulométrica, além disso, apesar de T_0 possuir 40% de solo não plástico, seus materiais passam pelo processo de peneiramento, que retira as partículas maiores, ou seja, retira parte do teor de areia fina e grossa, por isso seu índice de plasticidade superou o Solo A que contém uma maior quantidade de areia que a mistura T_0 . Já comparando ao traço T_1 , vemos que ele possui um índice de plasticidade inferior a T_0 , isso se dá pela presença de 60% de solo B.

Quanto a composição, o ensaio de FRX executado com amostras dos solos A e B indicou a alta incidência de sílica e alumina além da presença de alguns outros compostos, como óxido de ferro, hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, como mostra a Tabela 3:

Tabela 3: FRX do solo A e do solo B

Composição	Solo A	Solo B
SiO_2	56,868%	59,230%
Al_2O_3	24,561%	22,834%
Fe_2O_3	8,700%	7,554%
K_2O	2,872%	3,173%
CaO	2,309%	2,792%
MgO	2,724%	2,422%
TiO_2	1,090%	0,952%

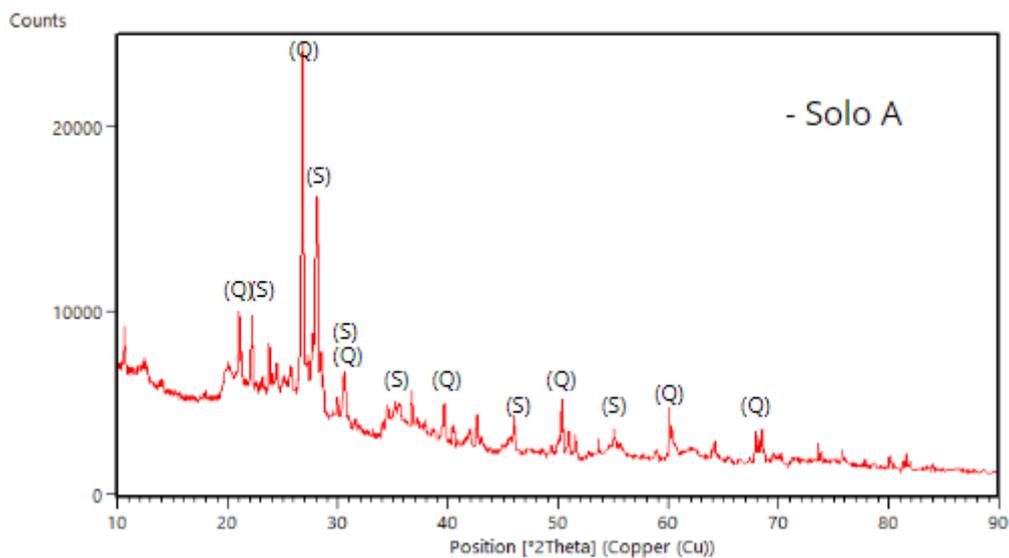
Fonte: Autoral, 2024

Comparando os dois solos, vê-se que o Solo B possui uma maior quantidade de sílica, sabendo que a sílica é o principal composto da areia, tem-se que o solo B de fato, possui uma maior quantidade de areia. As argilas são materiais terrosos e naturais, compostos por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio (SILVA; LIMA; RODRIGUES, 2015), portanto, a maior incidência de alumina no solo A configura uma maior presença de argila na composição, que indica a característica de plasticidade

atestada. Essas afirmativas vão de encontro aos resultados encontrados na análise de granulometria. Além disso, cada composto desse é responsável por uma característica física e mecânica do solo, como por exemplo, o óxido de ferro é responsável pela retenção de água (característicos de solos plásticos) (GROHMANN; CAMARGO, 1973), a alumina é responsável pela resistência mecânica em temperatura ambiente, coeficiente de expansão térmica elevado, isolamento elétrico, resistência à corrosão, insolubilidade, entre outros (MARQUES, 2006), e o CaO quando posto sob umidade, reage com a sílica e forma C-S-H, semelhante à reação de endurecimento do cimento na argamassa (CORDEIRO; TOLEDO FILHO; FAIRBAIRN, 2009).

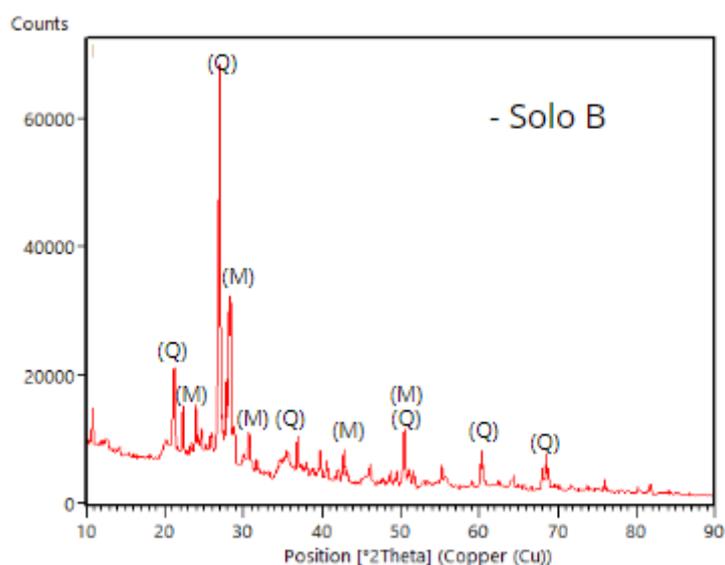
Analisando a estrutura mineralógica do solo por DRX, tem-se os resultados expostos nas Figuras 16 e 17. Os minerais indicados nas figuras foram os que indicaram maior score no programa Xpert, o que significa que há uma maior probabilidade de haver a incidência deles na composição dos solos.

Figura 16: DRX do Solo A indicando a presença de quartzo (Q) e Sanidina (S)



Fonte: Autorial, 2024

Figura 17: DRX do solo B indicando presença de Quartzo (Q) e Microlina (M)

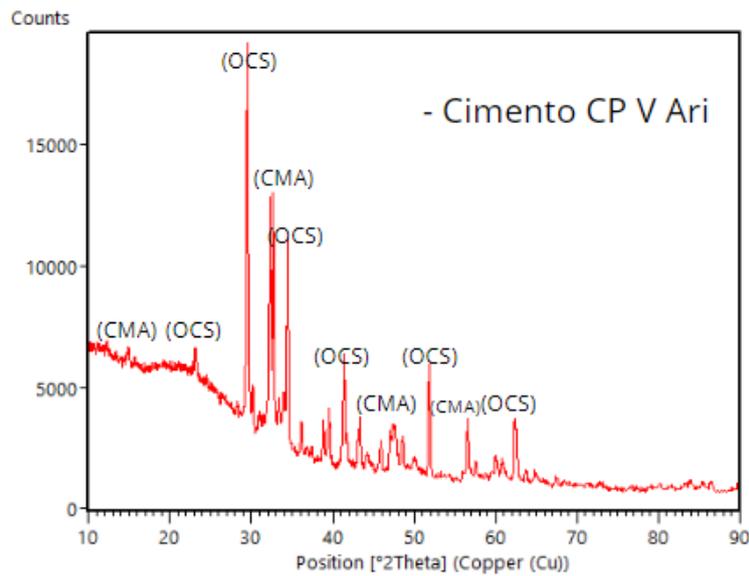


Fonte: Autoral, 2024

O Solo A tem a presença predominante de quartzo (Q) e Sanidina (S), enquanto o solo B tem maior incidência de Quartzo (Q) e Microlina (M). Segundo LUCAS *et al.* (2007), o quartzo é uma impureza dentro da composição dos solos argilosos, agindo como material não plástico, enquanto a microlina (da família dos feldspatos) é benéfica por propiciar a fundição do material no processo de queima. A sanidina também é da família dos feldspatos (LIRA, 2013), dessa forma, fornece ao solo características semelhantes à microlina.

Já o DRX do cimento indicou a presença de óxido cálcio e silício (OCS) na fórmula $Ca_3(SiO_4)$ e cálcio, magnésio, alumínio, ferro e silicatos (CMA) na fórmula $Ca_2Mg_{0.2}Fe_{0.6}Si_{0.2}O_5$, como visto na Figura 18; esses compostos são resultantes da junção em altas temperaturas de calcário (carbonato de cálcio), e argilas (silicato de alumínio e de ferro) (CASTRO, 2021). A hidratação desses compostos é essencial para a agregação das partículas de solo e polímeros, tornando o material rígido.

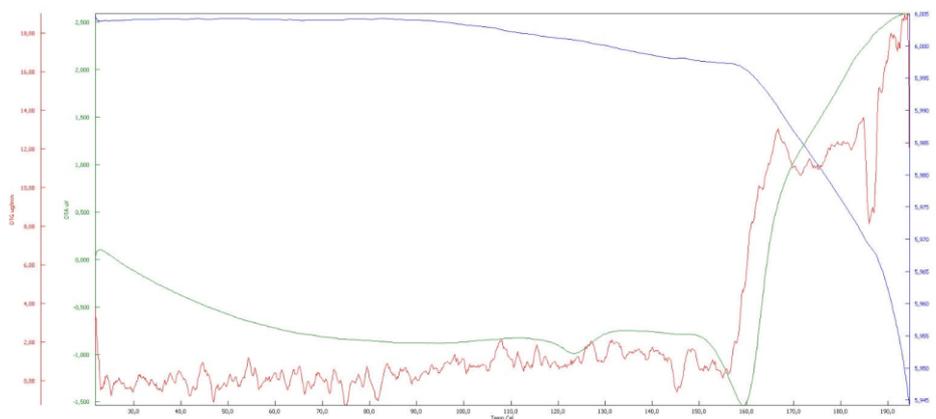
Figura 18: DRX do cimento, indicando a presença de óxido cálcio e silício (OCS) e cálcio, magnésio, alumínio, ferro e silicatos (CMA)



Fonte: Autoral, 2024

Ao analisar as curvas termogravimétricas (Figura 19), é possível identificar que a temperatura é um ponto crítico para o polímero. Segundo referências bibliográficas, a temperatura de fusão do polipropileno é cerca de 170 °C, enquanto que a temperatura do polietileno de baixa densidade é de 110 a 115 °C (BARBOZA; DE PAOLI, 2002; COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003). A Figura 19 mostra que, variando de 30 °C a 200 °C, há uma perda de massa de forma acelerada entre 160 °C e 170 °C, isso implica na existência de uma maior quantidade de polipropileno (que é mais resistente a temperaturas).

Figura 19: TG, DTG e DTA do resíduo polimérico



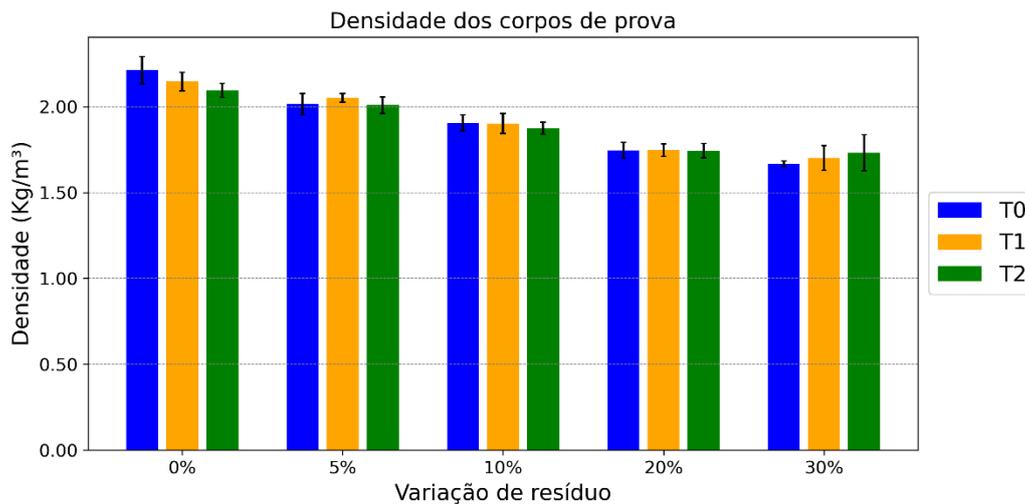
Fonte: Autoral, 2024

Contudo, Campante e Sabatini (1999) definiram que para temperaturas de 32 °C, um revestimento de fachada pode chegar a 70 °C; fazendo uma análise linear, para regiões onde a temperatura chega a 41 graus no verão, a fachada poderia chegar a 92,58°C. Já um estudo feito por Ramos e Bauer (2022) em diferentes regiões do Brasil, mostra que a temperaturas das fachadas variam conforme radiação e temperatura do ar, apontando valores mínimos de 46,16 °C e máxima de 52,97 °C. Outro estudo feito por Agostinho *et al.* (2016) para analisar a temperatura de fachadas utilizando simulação higrotérmica durante 12 meses do Distrito Federal, indicou temperaturas máximas abaixo de 45 °C. Dessa forma, supõe-se que a utilização em meio externo não causaria danos ao material, tendo em vista que a temperatura de exposição se encontra abaixo das temperaturas de fusão dos polímeros PP e PE.

5.2 Análise da densidade

O gráfico de densidade mostra uma pequena variação ao longo das composições, todavia, a incidência de polímero resultou na diminuição da densidade para todos os traços T_0 , T_1 e T_2 , como mostra a Figura 20. Tal acontecimento pode ser explicado pelo fato de a densidade do polímero ser menor que a densidade do solo. Como há uma relação de massa/volume vista na Equação I, a massa do polímero influencia diretamente na densidade. Correa *et al.* (2021) diz que há dois fatores que influenciam na massa específica do material: primeiro é a massa específica do polímero comparada ao do solo, e segundo é o teor de vazios incorporados, que é diretamente influenciado pela quantidade de polímeros, devido a geometria dos seus grãos não serem tão esféricos quanto aos do solo, e resultam no aprisionamento de ar. Segundo Garcia (2020) o peso específico do polipropileno é 65% menor que a areia comum; assim, com a adição de PP e PE, tem-se uma redução na quantidade de argila, refletindo em uma massa menor, que implica em uma menor densidade.

Figura 20: Densidade dos corpos de prova



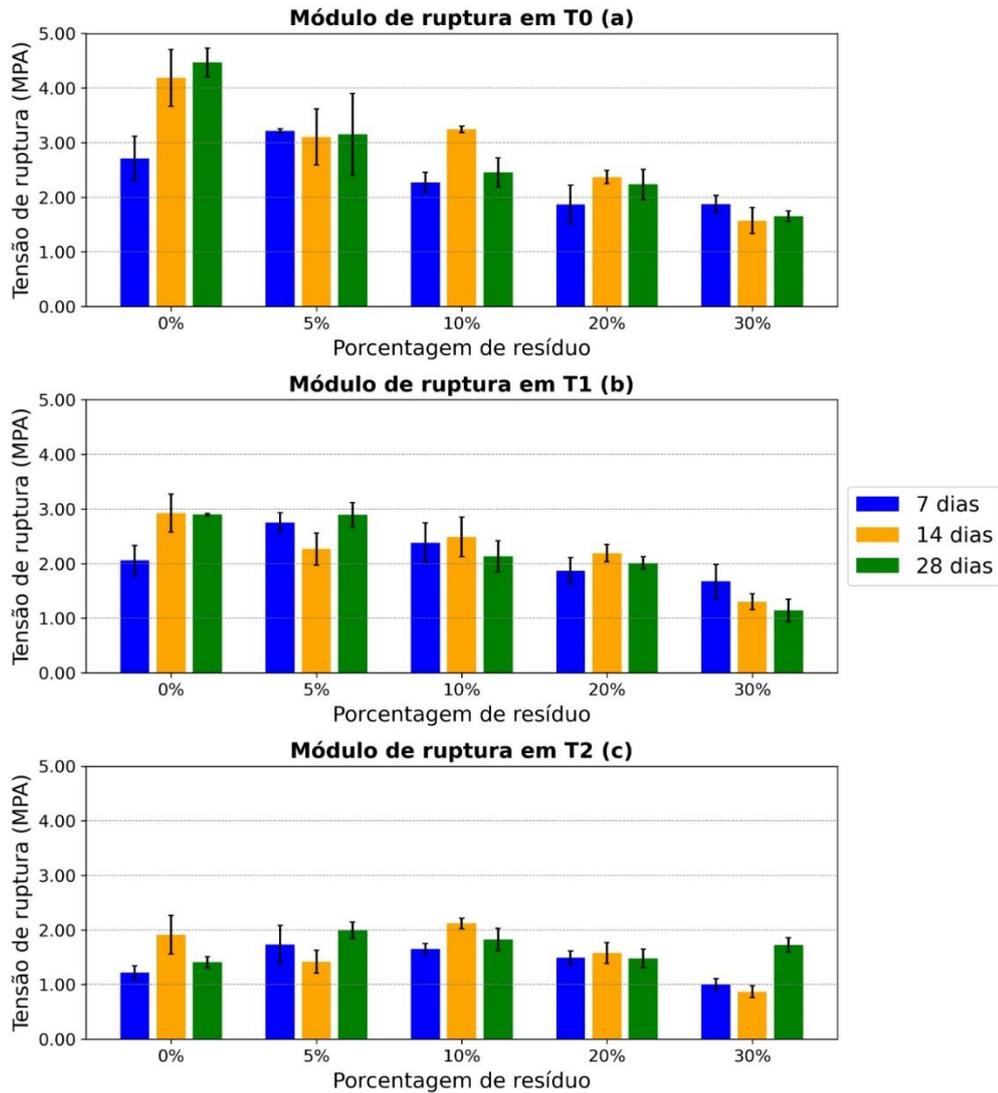
Fonte: Autoral, 2024

A diminuição da densidade resulta em melhorias em isolamento térmico pois há uma menor condutividade pelo material (AFFONSO, 2024), além disso, um material mais leve reflete na maior facilidade de manuseio, ampliando a produtividade do trabalhador. A densidade também influencia na adesão com o substrato, pois quanto mais denso, menor a probabilidade de desprendimento (para alguns tipos de argamassa). Entretanto, caso haja uma grande incidência de vazios, ele consequentemente acaba possuindo um maior potencial para haver efeito de capilaridade com relação à absorção de água (LUBECK et al., 2018).

5.3 Análise de flexão

A Figura 21 contém a tensão de ruptura para a variação de 0%, 5%, 10%, 20% e 30% ao longo de 7, 14 e 28 dias para cada traço T adotado. Cada coluna corresponde a uma média entre os corpos de prova analisados.

Figura 21: (a) Módulo de ruptura do traço T0. (b) Módulo de ruptura do traço T1. (c) Módulo de ruptura do traço T2

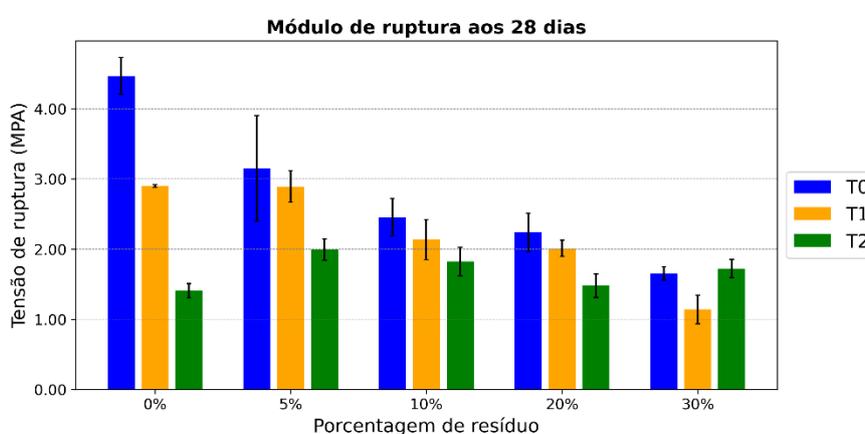


Fonte: Autoral, 2024

Para a Figura 21 (a), referente ao traço T_0 , tem-se uma evolução significativa da resistência para as amostras de referência (0% de resíduo), o que não ocorre nas demais variações de polímero. Na Figura 21 (b), que corresponde ao traço T_1 , há uma evolução da amostra de referência nos primeiros 7 dias, logo após é estabilizado, enquanto nas demais porcentagens de resíduo, a resistência tende a haver um decréscimo, porém não tão acentuado quanto ao ocorrido ao longo das formulações em T_0 . Para a Figura 21 (c), nota-se que para a maioria das composições poliméricas, há uma evolução até os 14 dias, seguido de uma redução da tensão de ruptura com o passar do tempo, com exceção de 5% e 30% que aos 14 dias sofreram uma diminuição e aos 28 dias sofreram um aumento da resistência.

De modo geral, observa-se que para o traço T_0 , a formulação de referência obteve melhores resultados, adquirindo resistência ao longo dos dias, enquanto para as demais variações de polímero, houve redução; já em T_1 , houve um aumento da resistência até os 14 dias seguidos de uma estabilização, e apesar da evolução da tensão não ter ocorrido da mesma forma, pode-se observar que os valores de 5% se equipararam aos de 0%; com relação a T_2 , 5%, 10%, 20% e 30% apresentaram-se com melhor desempenho que as amostras de referência, com ênfase em 5% e 10%. Tais resultados podem ser observados melhor na Figura 22, que mostra a tensão de ruptura dos corpos de prova aos 28 dias de vida.

Figura 22: Tensão de ruptura aos 28 dias de idade dos corpos de prova



Fonte: Autoral, 2024

Vê-se então, que nas amostras de referência, a amostra T_0 mostrou-se com melhor desempenho que os demais traços para todas as variações de polímero, exceto em 30% que se equiparou a T_2 . Ainda sobre T_0 , pode-se observar que com a incidência de resíduo polimérico, houve uma redução na resistência, enquanto T_1 estabilizou até 5% e logo após houve uma redução, ao contrário de T_2 , que em 5%, 10%, 20% e 30% apresentaram-se melhor que a referência.

Uma das possíveis causas para essas relações de redução de tensão de ruptura, pode ser explicado pelo fator empacotamento. Segundo Oliveira *et al.* (2000) existem uma série de fatores que podem influenciar no empacotamento, como:

- Distribuição granulométrica: partículas de diferentes tamanhos se agrupam melhor, onde as menores partículas preenchem os espaços deixados entre as maiores, resultando em uma menor quantidade de poros.

- Forma: quanto mais esférica as partículas forem e menor a dimensão daquelas de formato irregular, maior o empacotamento.
- Densidade: quando há uma diferença de densidade das partículas, pode ocorrer segregação entre os componentes, diminuindo o fator empacotamento.

A granulometria dos polímeros por ser entre 0,425 mm e maior que 0,18, acaba sendo maior que o tamanho das partículas de solo, pois este é apenas inferior a 0,425, não tendo um controle mínimo para sua dimensão; com relação a forma, os polímeros possuem irregularidades, não estando a maioria no formato esférico, como visto na Figura 23.

Figura 23: Partículas de polímero



Fonte: Autoral, 2024

Com relação à granulometria, o resíduo poderia auxiliar no fator empacotamento, contudo, sua densidade e seu formato acabam por atrapalhar nesse contexto, sendo passíveis de gerar vazios. Tal fato pode ser analisado juntamente com o resultado da análise de densidade dos corpos de prova, onde a maior incidência de polímero resultou em um menor valor.

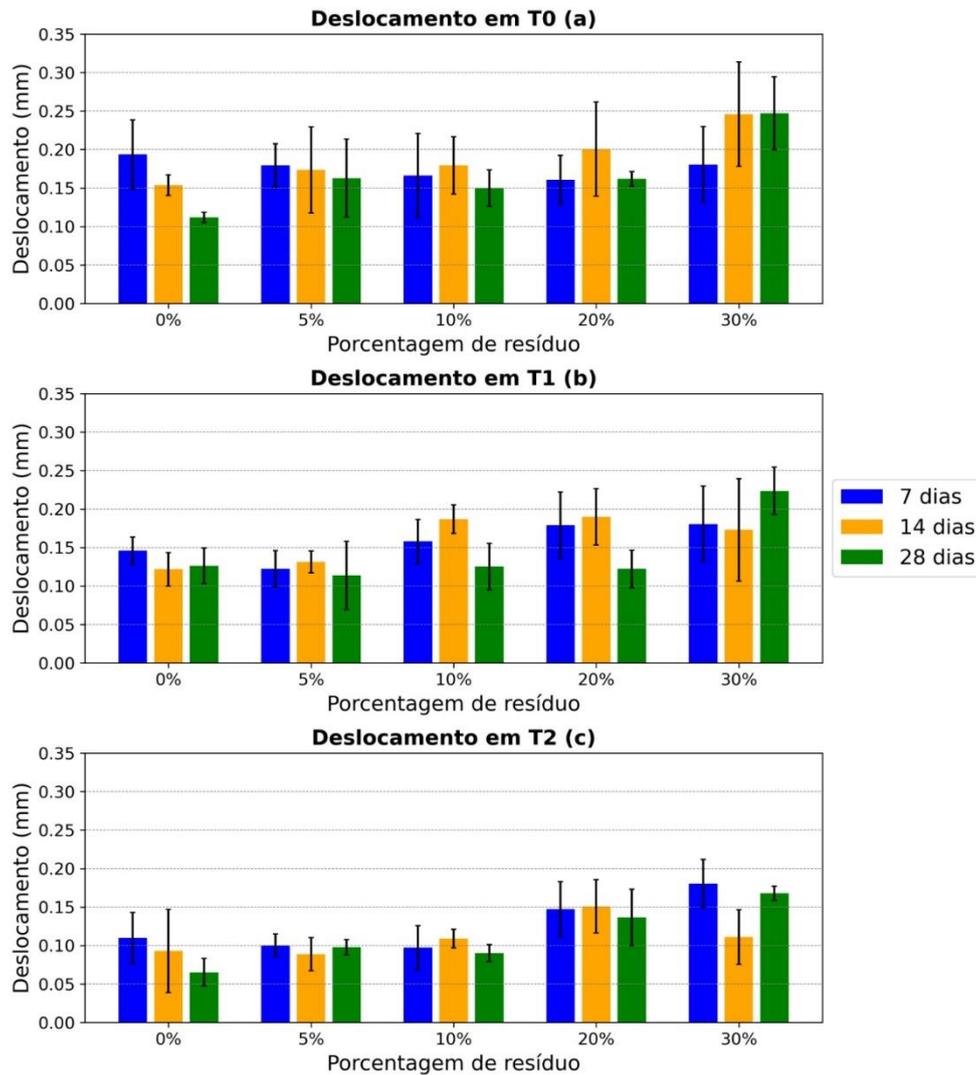
O aumento das partículas de polímero também pode influenciar na tensão de ruptura por terem uma menor resistência mecânica e pela menor interação entre a matriz cimentícia quando comparada as partículas de solo (MODRO; OLIVEIRA, 2009). Outro ponto relevante é a relação entre a massa do material e a água incorporada: Canellas (2005) investigou a adição de PET às argamassas e observou que as propriedades hidrofóbicas dos polímeros criam uma repulsão à água, a qual é absorvida pela matriz cimentícia em quantidade superior à necessária para as reações de hidratação. Isso resulta em fragilidade nas regiões de interface entre a matriz e o agregado. Esse fenômeno pode explicar os melhores resultados obtidos com o traço T_0 , que contém uma quantidade maior de silte e argila; esses materiais ajudam a reter a água repelida pelo plástico, evitando excessos que poderiam interferir na reação com o cimento e, conseqüentemente, tornando o material menos poroso. Em contrapartida, traços com maior proporção de areia não conseguem reter a umidade tanto quanto o polímero e a argila.

Embora o traço T_0 (com 0% de adição de polímero) tenha apresentado a melhor resistência à carga, Oliveira (2021) ressalta que um ganho excessivo de resistência pode comprometer o desempenho final da argamassa, pois argamassas muito rígidas são mais suscetíveis a fissuras devido a movimentos térmicos.

5.4 Análise de deslocamento na flexão

Os dados da análise de deslocamento dos corpos de prova são expostos na Figura 24, onde (a), (b) e (c) ilustram o comportamento das amostras ao longo dos 7, 14 e 28 dias, conforme variação de resíduo.

Figura 24: Análise de deslocamento na flexão: (a) Deslocamento em T_0 (b) Deslocamento em T_1 (c) deslocamento em T_2



Fonte: Autoral, 2024

Na Figura 24 (a) houve um decréscimo da flexibilidade dos corpos de prova ao longo dos dias, com exceção de 30%, que aos 14 dias sofreu um aumento e manteve-se constante, na Figura 24 (b) e (c), assim como em T_0 , todas as variações de polímeros tiveram respostas negativas ou constantes no decorrer dos dias, sendo 30% a única porcentagem que se diferiu, havendo uma crescente capacidade de deformação para T_1 e havendo uma queda nos valores aos 14 dias seguido de um aumento aos 28 para T_2 , se equiparando aos resultados iniciais dos 7 dias de vida. Pode-se ver ainda, que comparando todas as colunas, quanto menor a quantidade de resíduo, menor a capacidade de deslocar-se.

Portanto, uma maior adição de polímero gerou maiores valores de deslocamento, isso significa que o corpo de prova suportou uma maior deformação antes de romper.

Garcia (2022) explica que esse comportamento se dá pela menor rigidez do polímero quando comparada ao agregado mineral, Hameeda (2018) afirma que a presença de polímero (PET) nos concretos diminui a propagação de fissuras, tornando-o mais tenaz; o autor explica ainda que esse fenômeno é importante para evitar falhas catastróficas (rompimento de uma estrutura sem sinais prévios).

Outro fator que influenciou essa análise, foi a incidência de solo com alto teor de argila, que configura propriedades plásticas ao material. Segundo Ribeiro (2004) a plasticidade é a propriedade que os materiais têm de se deformar com a aplicação de uma força sem que haja rotura. Essa capacidade propicia certa elasticidade ao material, fazendo com que seja menos rígida e consiga sofrer deformações sem rompimento com mais facilidade.

5.5 Absorção de água

O ensaio de absorção de água realizado em um período de 24 horas demonstrou que havia uma fraca ligação entre as partículas do material, onde 6% de cimento foi insuficiente para fornecer características ligantes. As primeiras amostras a desintegrar foram aquelas com menor teor de polímero na composição, sofrendo mudanças no seu estado físico quase instantaneamente; os demais, com maior porcentagem de resíduo plástico e solo B, levaram mais tempo para se desfazer, contudo, ao completar 24 horas, todos estavam com suas partículas degradadas, contrariando a NBR 8492:2013, que determina uma absorção máxima de 20% para valores médios e 22% para valores individuais.

Figura 25: Corpos de prova após imersão em água por 24 horas



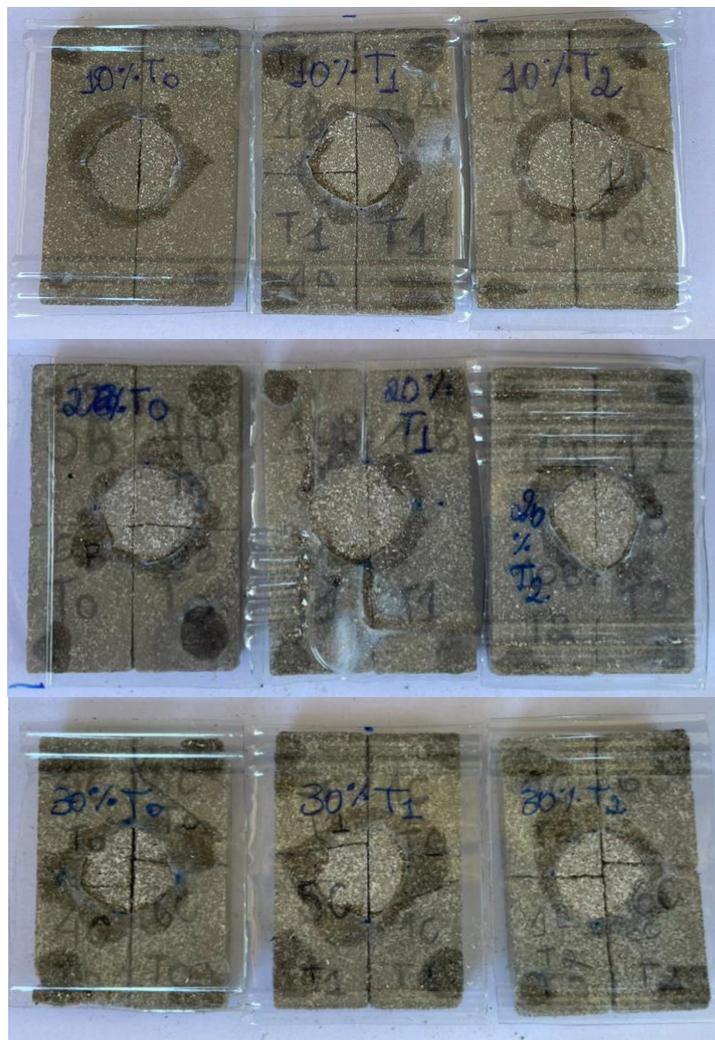
Fonte: Autoral, 2024

Como pode ser visto na Figura 25, após o teste, tornou-se impossível analisar a massa saturada dos corpos de prova, não havendo portanto, como aplicar a Equação III para estimar a porcentagem de água absorvida, contudo, conclui-se que ultrapassou os limites estabelecidos em norma.

5.6 Chuva dirigida

Inicialmente, supôs-se que haveria uma degradação apenas da área exposta à água, porém ao longo do teste, a água infiltrou nas amostras e gerou desintegração ao longo de todo o material. A Figura 26 mostra as condições iniciais de alguns corpos de prova antes de iniciar o teste:

Figura 26: Corpos de prova antes do ensaio de chuva dirigida



Fonte: Autoral, 2024

Durante o processo, foi comprovado (novamente) que os corpos de prova não resistiam a umidade. Contudo, o tempo de durabilidade diferiu conforme variação na

adição de polímero e quantidade de solo A e solo B na composição, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4: Tempo resistido pelos corpos de prova no ensaio de chuva dirigida

Corpo de Prova	Tempo resistido
0% T_0	2 min
0% T_1	10 min
0% T_2	5 min
5% T_0	5 min
5% T_1	4 min
5% T_2	10 min
10% T_0	7 min
10% T_1	10 min
10% T_2	4 min
20% T_0	12 min
20% T_1	27 min
20% T_2	30 min
30% T_0	8 min
30% T_1	13 min
30% T_2	30 min

Fonte: Autoral, 2024

As amostras de referência (com 0% de polímero) não apresentaram nenhuma resistência significativa, o bloco 0% T_1 ao ser retirado do suporte do equipamento após 10 minutos de teste, quebrou-se, como mostra a figura 27. Além disso, a pastilha apresentou-se com consistência mole, onde ao menor toque, o material desintegrava.

Figura 27: Amostra 0% T_1 após ensaio de chuva dirigida



Fonte: Autoral, 2024

Ainda com relação à Tabela 4, vê-se que a incidência de polímero resultou no aumento do tempo resistido pelos corpos de prova, sendo 20% T_2 e 30% T_2 as amostras

com melhores resultados. Ambas suportariam um tempo superior que trinta minutos, pois ao conferir as condições do material após o teste, viu-se que não houve desgaste e as partículas que as compõem ainda estavam firmemente agrupadas, mantendo a solidez do corpo de prova, como mostra as Figura 28 e 39.

Figura 28: Amostra 30% T_2 após ensaio



Fonte: Autoral, 2024

Figura 29: Amostra 20% T_2 após ensaio



Fonte: Autoral, 2024

A mudança no desempenho foi perceptível a partir dos 10% de polímero, onde os blocos se rompiam parcialmente, porém ainda apresentando ligamento entre as partículas. Outro ponto importante é a incidência de solo A e solo B, pois houve uma tendência a sofrer maior desgaste aqueles com altos teores de argila (maior quantidade de solo A). A Figura 30 mostra as amostras T_0 , T_1 e T_2 em 30% de resíduo, expondo o nível de degradação:

Figura 30: Amostras com diferentes frações de Solo A e Solo B



Fonte: Autorial, 2024

Lopes (1989) diz que solos arenosos retém pouca água pois há uma drenagem mais rápida, ou seja, a água infiltra de forma acelerada, mas sai rapidamente do solo, enquanto solos argilosos tem uma maior capacidade de retenção. Dito isso, supõe-se que as amostras testadas na chuva dirigida sofreram influência pela argila reter umidade, onde a pouca quantidade de ligante (cimento) não foi suficiente para manter a junção das partículas, que em meio aquoso acabaram se afastando, resultando na degradação rápida e pouca capacidade de agregação das partículas após o ensaio. Por outro lado, não apenas a areia repele a água, como também o polímero, por possuir propriedades hidrofóbicas, gerando um menor acúmulo de água entre as partículas, diminuindo significativamente sua segregação.

5.7 Resistência em ambiente externo e análise miocrópica

Os blocos expostos a meio ambiente apresentaram-se aparentemente ilesos às intempéries que ocorreram entre o mês de setembro e outubro de 2024, porém vale ressaltar que não foi um mês chuvoso. A Figura 31 mostra as condições físicas dos blocos ao completar 27 dias expostos.

Figura 31: Amostras com diferentes frações de argila/areia



Fonte: Autorial, 2024

Os corpos de prova utilizados para análise foram aqueles que tiveram melhores e piores desempenhos no teste de chuva dirigida, sendo, portanto, T_0 para 0% de resíduo polimérico e T_2 para 20% e 30% de polímero, o qual obteve-se os seguintes resultados, sendo antes e depois referente aos 27 dias de exposição:

Tabela 5: Peso dos corpos de prova antes e depois da exposição ao meio ambiente

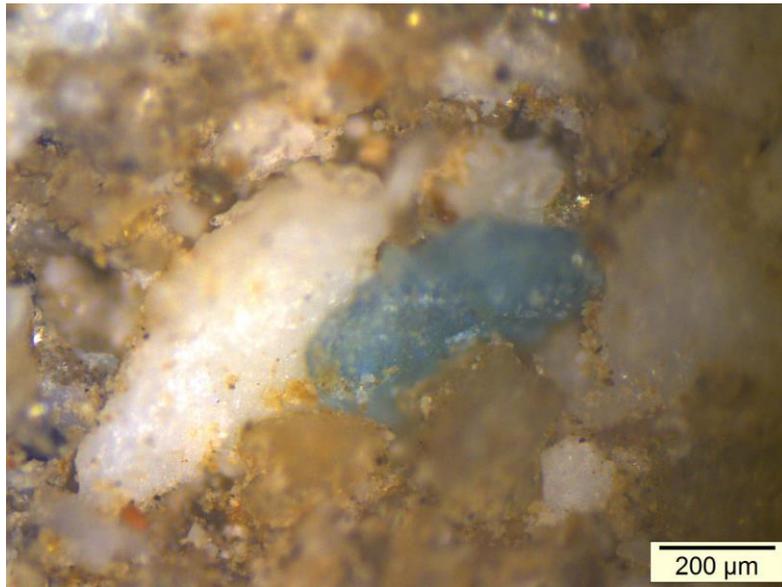
Amostra	Ambiente controlado		Ambiente exposto	
	Antes (g)	Depois (g)	Antes (g)	Depois (g)
T_0 0%	5,473	5,476	6,476	6,309
T_2 20%	5,828	5,824	6,144	6,146
T_2 30%	5,666	5,661	6,151	6,125

Fonte: Autoral, 2024

Os resultados mostram que comparado ao ambiente controlado, em que ocorreu uma mudança apenas na terceira casa decimal dos pesos dos corpos de prova, houve uma considerável variação na massa dos corpos expostos. Das amostras postas em ambiente externo, a que teve maior adição de massa foi T_0 0%, com um aumento de 0,167 g, onde supõe-se que houve ganho por umidade, T_2 20% manteve-se basicamente constante, com uma perda de 0,002 g de sua massa e T_2 30% resultou em um aumento de 0,026 g, sendo portanto T_2 20% a amostra que apresentou melhor desempenho em ambiente externo quanto a absorção de umidade.

O desempenho de T_2 20% pode-se explicar pelo fato dos solos arenosos terem uma menor capacidade de reter umidade como dito anteriormente por Lopes (2018), contudo, uma demasiada adição de polímero pode influenciar na captação de água (pelo efeito de capilaridade) com maior facilidade por tornar o material mais poroso, conforme mostra a Figura 32, retirada de um ensaio microscópico:

Figura 32: Aderência entre substrato e polímero



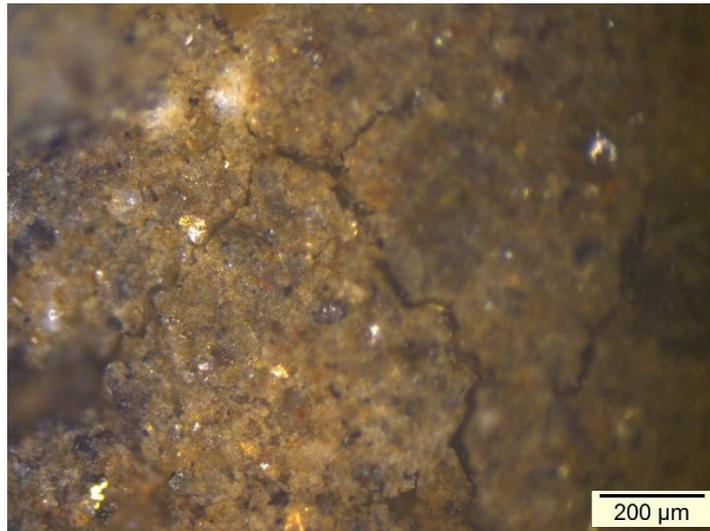
Fonte: Autoral, 2024

As partes desfocadas da imagem referem-se a desníveis na planície da amostra. Ao analisar a Figura 32, observa-se que o entorno do polímero apresenta separação do substrato, o que torna o material mais suscetível a fissuras e à entrada de água. Essa condição evidencia não apenas a vulnerabilidade estrutural, mas também a falta de adesão entre o ligante e o resíduo. Essa ausência de aderência compromete o desempenho do composto, que, assim, não opera de forma coesa e sinérgica, resultando em um sistema menos eficiente e potencialmente falho.

Vale ressaltar que foram identificadas microfissuras na amostra T_0 (com 0% de polímero) exposta a um ambiente externo (Figura 33), fenômeno não observado nas amostras mantidas em condições controladas. Essas microfissuras podem ter surgido devido a variações climáticas ou à perda de umidade. É importante destacar que as demais amostras contendo polímero não apresentaram essa falha.

Embora o tempo de análise tenha sido curto para uma avaliação abrangente, as amostras continuarão a ser monitoradas por um período mínimo adicional de 11 meses para a coleta de dados mais robustos. Essa continuidade na exposição permitirá uma melhor compreensão do comportamento a longo prazo e reforça a necessidade de implementar melhorias no desempenho dos materiais ao longo do tempo

Figura 33: Microfissura em amostra referência



Fonte: Autoral, 2024

6.0 CONCLUSÃO

É importante aplicar a ciência e os diferentes métodos de pesquisa a favor não apenas da evolução tecnológica, mas também da sustentabilidade, onde diferentes propriedades unidas em um único material podem proporcionar excelência na qualidade do produto aliado ao cuidado com a natureza.

Estudar os blocos de solo-cimento com adição dos polímeros polipropileno e polietileno foi desafiador, visto que há pouco (ou quase nada na literatura) sobre tal assunto, sendo a maior parte das pesquisas na área com foco na utilização de PET, contudo, foi possível determinar algumas propriedades do conjunto, bem como seus pontos críticos.

Ao final, foi visto que uma maior incidência de resíduo polimérico resulta em um material menos denso e mais resistente à segregação das partículas por incidência de umidade, sendo esse último, também influenciado pela quantidade de solo não plástico (solo B) que possui uma maior quantidade de sílica e conseqüentemente mais areia, que assim como o polímero, não retém água. Contudo, a presença de polímero compromete a resistência à flexão, sendo os corpos de prova sem adição e com 5% de plástico com maior incidência de solo com propriedades plásticas (solo A), os que desempenharam melhores resultados.

Com relação à aplicação, viu-se que devido a ineficiência diante da exposição à umidade, tanto pelo ensaio de absorção quanto a chuva dirigida, torna-o inaplicável em ambientes externos e nas chamadas “áreas molhadas”, contudo, com relação à temperatura, foi visto que o material polimérico sozinho suporta temperaturas de até 160°C, não sendo um fator de impedimento de utilização em áreas externas nesse quesito. Na aplicação em ambientes externos, a entrada e saída de umidade acarreta microfissuras em amostras com maior teor de argila

No geral, as amostras com destaque nos resultados dos testes foram:

- Densidade: T_0 para 30% de polímero
- Flexão: T_0 , T_1 e T_2 para 5% de polímero
- Deslocamento: T_1 e T_2 para 30% de polímero
- Imersão: T_2 para 30% de polímero
- Chuva dirigida: T_2 para 20% e 30% de polímero

- Resistência ao meio ambiente: T_2 para 20%

7.0 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar estudos aplicando uma maior quantidade de cimento.
- Testar o desempenho em ambiente externo por mais tempo, realizando teste de flexão ao final.
- Analisar a resistência à umidade utilizando resinas impermeabilizantes.
- Fazer corpos de prova com maiores dimensões para executar ensaios conforme as normas.
- Fazer ensaio de arrancamento para determinar se as placas de solo-cimento com adição de resíduo polimérico aderem devidamente a parede ou se sua aplicação só funciona através de chumbamento.
- Como a retração é um ponto crítico das argilas, sugere-se analisar a retração dos blocos no dia inicial da moldagem, aos 7, 14 e 28 dias.
- Realizar o ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para analisar a aderência entre o resíduo e o substrato.
- Avaliar o desempenho dos corpos de prova com cura úmida.

8.0 BIBLIOGRAFIA

AFFONSO, S. B. A. UNESP. **O uso da vermiculita expandida em argamassas de revestimento**. 14 ago. 2024.

AGOSTINHO, L. B. et al. **ESTUDO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DAS FACHADAS COM EMPREGO DA SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA**. 1 ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 16, 2016.

AKCELRUD, Ieni. **Fundamentos da ciência dos polímeros**. Barueri: Manole, 2007.

ALMEIDA, Janilton de Lima. Impactos ambientais provocados pela extração de argila no Município de Ibiassucê-BA. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, Ed. 09, Vol. 03, pp. 35-46. Setembro de 2020. ISSN: 2448- 0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/meioambiente/extracao-de-argila>

Alvaro. Julie. **Mais de 25 aplicações do polipropileno PP**. **Plástico.com.br**. Janeiro de 2024. Disponível em: <<https://www.plastico.com.br/mais-de-25-aplicacoes-do-polipropileno-pp/>>. Acesso em: 15 de agosto de 2024.

ARRUDA, A. M. **Elaboração de um material paradidático para discutir o conteúdo de polímeros no Ensino Médio: em foco a interdisciplinaridade e a contextualização no Ensino de Química**. Educapes, 22 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Cimento Portland: Características e aplicações**. São Paulo, 1984

Associação Brasileira de Cimento Portland. **SOLO-CIMENTO**. ABCP, 2009. Disponível em: <https://abcp.org.br/solo-cimento/>. Acesso em: 29 de agosto de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13818:1997 - **Plásticos - Determinação da resistência à tração**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8492:1984 - **Cimento Portland - Determinação da resistência à tração**. Rio de Janeiro, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6502: Identificação de produtos e serviços**. Rio de Janeiro, 1965.

- Bahar et al., R. (2004). Performance of compacted cement-stabilised soil. **Cement and Concrete Composites**, 26, 811–820. doi:10.1016/j.cemconcomp.2004.01.003
- BARBOZA, A. C. R. N.; DE PAOLI, M. A. Polipropileno Carregado com Microesferas Ocas de Vidro (Glass Bubbles™): Obtenção de Espuma Sintática. **Polímeros**, v. 12, p. 130–137, 2002.
- BARROS, V. S.; BARROS, J. V. AS IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS. **57º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Natal. 2013
- BEDFORD, Anthony M.; FOWLER, Wallace. **Engineering Mechanics: Dynamics**. 5. ed. Boston: Pearson, 2013.
- BOCHINI, Bruno. **Brasil gerou 64 quilos de resíduos plásticos por pessoa em 2022. Agência Brasil, São Paulo. Março de 2023.** Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-03/brasil-gerou-64-quilos-de-residuos-plasticos-por-pessoa-em-2022>. Acesso em: 10 de julho de 2024
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União, Brasília, 3 ago. 2010. Seção 1, p. 1.
- BRASIL. Portal Gov.br. **Brasileiro pode gerar 16kg de plástico por ano que chega ao oceano, aponta estudo**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2022/10/brasileiro-pode-gerar-16kg-de-plastico-por-ano-que-chega-ao-oceano-aponta-estudo> . Acesso em: 13 de julho de 2024.
- BRITO, Antônio Williams de Lima. **CURSO TÉCNICO EM CERÂMICA VERMELHA**. Ceará: Governo do Estado do Ceará (Secretaria da Educação), 2012.
- CALLISTER, William D; RETHWISCH, David G. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018
- CAMACHO, J. S. et al. Aderência de revestimentos em paredes de blocos cerâmicos com função estrutural. **Ambiente Construído**, v. 16, p. 109–119, jun. 2016.
- CAMPANTE, E. F. SABBATINI, F.H. Durabilidade de revestimentos cerâmicos de fachada. In: **V Congresso Iberoamericano de Patologia de Las Construcciones**, Montevideo, 1999. Anais. p.183-191.

CAMPOS, Iberê M. Conheça os três tipos principais de solo: areia, silte e argila. **IBDA- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Construção Civil. Fórum da construção. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php>**, 2013.

CANELLAS, S.S. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. Dissertação M.Sc., PUC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo. Descolamento de Revestimentos de Argamassa Aplicados sobre Estruturas de Concreto–Estudos de casos brasileiros. In: **Lisboa: 2º Congresso Nacional de Argamassa de Construção**. 2007.

CARASEK, Helena. **Patologia das argamassas de revestimento. Materiais de Construção e Princípios de Ciência em Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, v. 1, p. 1-11, 2007.

CARDOSO, Fábio Alonso. **Método de formulação de argamassa de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese (doutorado em engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CARVALHO, Rousimar Viana de; TIEPO, Ariadne. **A UTILIZAÇÃO DO REVESTIMENTO CERÂMICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2024. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Anhanguera, 2022.

CASTRO, V. G. Cimento Portland. In: *Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro*. Mossoró: **EdUFERSA**, 2021, pp. 13-21. ISBN: 978-65-87108-26-1. <https://doi.org/10.7476/9786587108612.0002>.

CHAZALI, Ângela Costa Kamílio. **DISPONIBILIDADE DE MATÉRIA PRIMA NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SEU IMPACTO AMBIENTAL**. Centro Universitário de Mineiros. P, 1. Link: <https://publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/anais-semana-universitaria/article/download/2281/1479/7515>

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. DE M. R. Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios. **Química Nova**, v. 32, p. 82–86, 2009.

CORREA, P. M. et al. Potential use of PET and PP as partial replacement of sand in structural concrete. **Matéria**. Rio de Janeiro, v. 26, 2021.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. DE. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros**, v. 13, p. 01–13, jan. 2003.

CULLEN, A. J.; REES, R. C. **Fundamentals of Ceramics**. 2. ed. New York: Taylor & Francis, 2003.

DANTAS, V. B.; GOMES, U; U.; REIS, E. P.; VALCACER, S. M. SILVA, A. S. Desenvolvimento de blocos de solo-cimento com três intervenções: solo natural, solo corrigido com areia e solo com materiais de mudança de fase (MMFs). **Congresso Brasileiro de Engenharias e Ciência dos Materiais**, Cuiabá, 2014, p. 1-15.

DUARTE, Wander de Jesus Barboza. LIXO PLÁSTICO: UMA AMEAÇA À VIDA MARINHA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**. São Paulo, v.8.n.08. P. 4, ago.2022

FIESC, Federação das Indústrias de Santa Catarina. **SC é o segundo estado em número de empresas que adotam logística reversa. Florianópolis**. 2021. Disponível em: <<https://fiesc.com.br/pt-br/imprensa/sc-e-o-segundo-estado-em-numero-de-empresas-que-adotam-logistica-reversa#:~:text=Florian%C3%B3polis%2C%202014.12.2021%20%E2%80%93%20Com,que%20implementaram%20a%20log%C3%ADstica%20reversa.>>. Acesso em: 13 de julho de 2024

GARCIA, A. S.; CAMARGO, L. F. E.; SILVA, B. C. S.; SOUZA, G. T. Avaliação das propriedades no estado fresco de argamassas produzidas com resíduos de polipropileno (PP). **Technology Science**, v.2, n.1, p.66-72, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6425.2020.001.0012>

GARCIA, Adson de Sousa; SILVA, Bárbara Cristina Soares. **PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO NATURAL POR RESÍDUO DE POLIPROPILENO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade federal do Pará, Tucuruí, 2022

GOMES, Danilo de Alencar. **Efeito da saturação do solo sobre a estabilidade de falésias**. 2016. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

GROHMANN, F.; CAMARGO, O. A. DE. Influência dos óxidos de ferro livres e da matéria orgânica na adsorção da água pelo solo. **Bragantia**, v. 32, p. 203–222, 1973.

GROVE, David; WILSON, Paul. **Building Materials and Durability**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

HAMEEDA, Awham Mohammed; AHMED, Bilal Abdul -Fatah Ahmed. Employment the plastic waste to produce the light weight concrete. **ScienceDirect**, Atenas, 2018, p. 1-9.

HOLTZ, Robert D.; KOVACS, William D. **An Introduction to Geotechnical Engineering**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006.

HUGHES, John; KERR, Robert. **Clay Mineralogy: A Comprehensive Guide**. 1. ed. London: Chapman & Hall, 1992.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados gerais das empresas industriais**, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial-anual.html>>. Acesso em: 13 de julho de 2024.

LARUCCIA, Mauro Maia. SUSTENTABILIDADE E IMPACTOS AMBIENTAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **ENIAC Pesquisa**, Guarulhos (SP), v. 3, n. 1, P. 70, jan.-jun. 2014.

LEITE, Januaria Cecilia Pereira Simões. MEIO AMBIENTE E OS EMBATES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, P. 40, Jul/Dez. 2014

LIMA, André Barbosa. **O PROCESSO PRODUTIVO DO CIMENTO PORTLAND**. 2011. 38 f. Monografia (Engenharia de Recursos Minerais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LIRA, H.L; NEVES, G.A. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, 2013, V. 8.3, P, 110-117.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**: 2ª ed. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989.

LOPES, Diogo Plachi, et al. RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**. São Paulo, v.9.n.01, P. 938-939, jan. 2023.

Lourenço, P. **Construções em Terra**. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico. 2002.

LUBECK, A. et al. ESTUDO DO POTENCIAL DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO EM DIFERENTES BLOCOS DE ALVENARIA COM E SEM USO DO CHAPISCO. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 17, n. 1, p. 89–96, 12 nov. 2018.

LUCAS, E. F. A.; CARANASSIOS, A.; BORLINI, M. C. Estudos preliminares de caracterização da argila do Vale do Mulembá – ES. **XV Jornada de Iniciação Científica do CETEM**, 2007. Disponível em: . Acesso em: 15 de Dezembro, de 2015.

MANO, Eloisa Biasotto. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Blucher, 1991.

MARQUES, C. M. **Relação entre microestrutura e desgaste erosivo a frio e a quente em materiais cerâmicos à base de alumina**. 2006.

MARTINS, Renato Alas; RODRIGUES, Geraldo Stachetti. **Efeitos Potenciais do Ozônio Troposférico sobre as Plantas Cultivadas e o Biomonitoramento Ambiental**. In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.; GONZALEZ MIGUEZ, J. D. Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira. Edição 1. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001. P. 144.

MATOS, Mariana. **Uma visão química das Tintas Imobiliárias e sua questão ambiental**. Monografia de Bacharel (Química). Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2017.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. 1999.

MEZQUITA, Ana; BOIX, Juan; MONFORT, Eliseo; MALLOL, Gustavo. Energy saving in ceramic tile kilns: cooling gas heat recovery. **Applied Thermal Engineering**, [S.L.], v. 65, n. 1-2, p. 102-110, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.01.002>.

MODRO, N. L. R.; MODRO, N. R.; OLIVEIRA, A. P. N. Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 14, p. 725–736, abr. 2009.

OLIVEIRA, Carlos Roberto Alves de. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS INCORPORADAS COM POLÍMERO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

MARQUES, J. da C. *et al.* Impactos causados pelos resíduos de construção e demolição no meio ambiente urbano. **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável**, Florianópolis, 2004. Disponível em:<<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/02/02-025.pdf>>.

Acesso em: 14 de julho de 2024.

OLIVEIRA, E. A. F.; FIGUEIRÊDO, S. S. M.; GONÇALVES, J. F.; BATISTA, T. A.; HOMEM, I. C. A.; JANUÁRIO, T. L. S.. Impactos ambientais oriundos da extração de calcário laminado em Santana do Cariri (CE). **Natural Resources**, v.8, n.2, p.21-30, 2018.

OLIVEIRA, Fernanda de, et al. Estudo das Propriedades Mecânicas de um Revestimento Cerâmico Multicamadas. **Cerâmica Industrial**, vol.12, n6, p. 2 - 4, Nov/Dez 2007.

OLIVEIRA, I. R. et al. **Dispersão e empacotamento de partículas: princípios e aplicações em processamento cerâmico**. São Paulo: Fazendo Arte, 2000. 195 p.

OLIVEIRA, Maria Cecília; BÉRNILS, Martha Faria Bérnils Maganha. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos**. São Paulo: CETESB, 2006.

PEREIRA, Agostinho Oli Koppe; HORN, Luiz Fernando Del Rio. **Relações de consumo: meio ambiente**. – Caxias do Sul, RS : Educs, 2009.

Portal do do Saneamento Básico. **PLÁSTICO: O maior vilão é o mau uso**. Ministério Público do Estado do Mato Grosso, 2021. Disponível em:<<https://www.mpmt.mp.br/portalcao/news/732/97613/plastico-o-maior-vilao-e-o-mau-uso/279>>. Acesso em: 10 de julho de 2024

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Design of normal concrete mixes**. Skokie, 1969.

PRIMO, Jurandir. **Polímeros e compósitos: engenharia e aplicação**. Sorocaba: Primotech, 2022.

RAMOS, Ana Lin; BAUER, Elton. Estudo da ação de agentes de degradação de fachadas associados à temperatura e a chuva dirigida em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. **ALCONPAT, Mérida**, v. 12, n. 2, p. 248-262, agosto 2022

RIBEIRO, C. G. et al. Estudo sobre a Influência da Matéria Orgânica na Plasticidade e no Comportamento Térmico de uma Argila. **Cerâmica Industrial**, v. 9, n. 3, p. 1-4, 2004

RIBEIRO, F. A. **Especificação de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios: levantamento do estado da arte**. Universidade de São Paulo, 30 jun. 2006.

Riza et al., F. V. (2010). A brief review of Compressed Stabilized Earth Brick (CSEB). **CSSR 2010 - 2010 International Conference on Science and Social Research**, (Ccsr), 999–1004. doi:10.1109/CSSR.2010.5773936.

Royer SJ, Ferrón S, Wilson ST, Karl DM. Produção de metano e etileno a partir de plástico no meio ambiente. **PLoS ONE**, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200574>> Acesso em: 14 de julho de 2024

SANDER, Marcela Mantese. **Estudo da ação plastificante de polímero obtido a partir de ácido oleico, em matriz de polipropileno e polietileno**. Trabalho de Conclusão de Curso (Química Industrial) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SILVA, E. L.; LIMA, L. A.; RODRIGUES, M. G. F. TECNOLOGIA DE OBTENÇÃO DE ARGILA ORGANOFÍLICA VISANDO SUA UTILIZAÇÃO COMO ADSORVENTE PARA REMOÇÃO DE ÓLEO. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**. XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. Blucher Proceedings, 15 maio 2015. Disponível em: <<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/tecnologia-de-obteno-de-argila-organoflica-visando-sua-utilizao-como-adsorvente-para-remoo-de-leo-17709>>. Acesso em: 15 set. 2024

SOUZA, Edson. **Conheça as Características e Aplicações do Polipropileno e do Polietileno.** Aglobal Distribuidora, 2023. Disponível em: <<https://cestosdelixoelixeiras.com.br/blog-lixo/o-que-e-pp-e-pr-e-quais-as-diferencas>>. Acesso em: 29 de agosto de 2024.

SOUZA, Kennedy Sebastião dos Reis, et al. A gestão de resíduos sólidos: como a reciclagem é uma fonte de riqueza. **Ambiência.** Guarapuava, Março de 2020. P. 2.

TREVISOL, Nicole. **Microplásticos assumem “identidade divina” e estão onipresentes no meio ambiente.** Jornal da Universidade federal do Rio Grande do Sul. Agosto de 2020. Disponível em: < <https://www.ufrgs.br/ciencia/microplasticos-assumem-identidade-divina-e-estao-onipresentes-no-meio-ambiente/>>. Acesso em: Acesso em: 13 de julho de 2024

UEMOTO, Kai Loh, et al. **Impacto ambiental das tintas imobiliárias.** In: SATTTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Construção e Meio Ambiente. Vol, 7. Porto Alegre: Coletânea HABITARE, 2006. P. 62.

WIECK, Rogerio; FH, Jamil Duailibi. Extrusão em Cerâmica Vermelha: Princípios Básicos, Problemas e Soluções. **Cerâmica Industrial,** 2013. P. 8.