



**UEPB**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS VIII – ARARUNA  
CENTRO DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL**

**REMERSON OLIVEIRA FREIRE**

**INTRODUÇÃO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
ANÁLISE TEÓRICO-EXPERIMENTAL DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO  
AGREGADO MIÚDO POR TERMOPLÁSTICO NA PRODUÇÃO DO CONCRETO**

**ARARUNA  
2021**

REMERSON OLIVEIRA FREIRE

**INTRODUÇÃO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
ANÁLISE TEÓRICO-EXPERIMENTAL DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO  
AGREGADO MIÚDO POR PVC E POLIETILENO NA PRODUÇÃO DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso ao Programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Engenharia Civil

**Orientador:** Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos.

**ARARUNA  
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F886i Freire, Remerson Oliveira.

Introdução de materiais recicláveis na construção civil [manuscrito] : análise teórico-experimental da substituição parcial do agregado miúdo por pvc e polietileno na produção do concreto / Remerson Oliveira Freire. - 2021.

50 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2021.

"Orientação : Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Concreto. 2. Análise de estrutura. 3. Reciclagem. I.

Título

21. ed. CDD 624.183 4

REMERSON OLIVEIRA FREIRE

**INTRODUÇÃO DE MATERIAIS RECICLÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
ANÁLISE TEÓRICO-EXPERIMENTAL DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO  
AGREGADO MIÚDO POR PVC E POLIETILENO NA PRODUÇÃO DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso ao Programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia Civil.

Aprovada em: 19 / 10 / 2021.

**BANCA EXAMINADORA**

*Daniel Baracuy da Cunha Campos*

Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Adonias da Costa Fernandes Neto*

Eng. Adonias da Costa Fernandes Neto  
AN Serviços de Construções e Incorporações

*Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro*

Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha família e a todos que fizeram parte da minha jornada acadêmica.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelos mantimentos, capacitação, sabedoria e paciência.

À minha família que sempre abraçou minha causa, me dando suporte nessa grande aventura para que esse sonho fosse possível, em especial a minha mãe, Giselda Oliveira, que sempre foi vencedora em suas batalhas para realizar meu sonho, e meu pai, Rolderich Freire, que teve paciência e absoluta confiança em mim.

A meu irmão, ao qual deixou transparecer que sempre fui motivo de orgulho pelas minhas conquistas.

À minha amada e futura esposa, Maria Eloisa, que sempre me esperou de braços abertos e com as palavras certas nos momentos mais difíceis.

Ao grupo de professores da UEPB o qual foi responsável pela minha formação intelectual na Engenharia e por vários diálogos de incentivo e compreensão. Em especial o meu orientador, Daniel Baracuy, que foi responsável por me conduzir nas diversas áreas de pesquisa e a professora Maria Adriana que sempre se mostrou sensível a nossas causas e disposta a ajudar.

A todos os colegas que fizeram parte dos mais variados momentos que ficarão na memória. Em especial meu amigo, José de Sousa (Netinho), o qual tive o prazer de dividir o lar durante anos e criar um laço de amizade que se perpetuará ao longo do tempo. Fica aqui uma menção honrosa aos meus amigos Gabriel Rodrigues (Corea), Emanuella Macêdo (Manu), Rayan Fabricio (Bross), Rodolfo Luís (Deputado) e Diego Macêdo (Burrego) por todos os diálogos, dificuldades, madrugadas acordadas e, principalmente, pela oportunidade de fazer parte da história de todos.

A meu mentor o Engenheiro Adonias Neto, pelo apadrinhamento, confiança, ensinamentos e por ter se tornado um amigo pessoal o qual tenho certeza que posso contar para vida.

## RESUMO

De um modo geral, entende-se por concreto simples como sendo um material de construção originado numa mistura de cimento e agregados miúdos e graúdos, homogeneizados com água em proporções exatas e bem definidas e os materiais recicláveis como utensílios que fomentam interesse de transformação viabilizada por operações industriais. A aplicação de materiais de construção civil requer o desenvolvimento e aprimoramento de suas propriedades e das técnicas construtivas. Nesse sentido, a utilização de um material com consumo em alta escala como o concreto quando associado com a utilização dos plásticos mais recicláveis do mundo como os termoplásticos, constituem-se em uma possível solução por apresentar individualmente discussões promissoras sobre seus desempenhos nas áreas estrutural, ambiental e socioeconômica. A utilização de materiais renováveis e de baixo consumo de energia é fundamental em todas as áreas produtivas, principalmente o da construção civil, devido ao alto consumo de energia que esta atividade requer. O objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento físico-mecânico de concreto com substituição parcial do agregado miúdo por polímeros recicláveis. A metodologia utilizada consiste em realizar a caracterização granulométrica dos agregados utilizados e ensaiar o concreto normal e com substituição parcial do agregado miúdo por PVC e Polietileno, para verificar sua resistência a compressão e fazer uma comparação com o concreto convencional. A substituição parcial da areia foi feita em três teores diferentes 10, 20 e 30% por PVC e depois por Polietileno nas mesmas proporções, em seguida foi verificado o abatimento do concreto fresco e a sua resistência a compressão após 28 dias de cura. De modo geral os resultados obtidos foi uma queda na resistência a compressão do concreto, embora os corpos de provas com teores de substituição de 10% terem apresentado um melhor comportamento, ainda houve uma queda de 18,64% e 60,64% para o PVC e o Polietileno respectivamente, a resistência a compressão também caiu para a substituição com 20% de PVC em 30,52% e 36,34% para o teor de 30%, já para o Polietileno houve uma queda maior de 67,50% e 77,56% para os teores de 20% e 30% respectivamente. A principal causa da baixa resistência a compressão foi o aumento dos vazios que é inversamente proporcional a resistência a compressão do concreto.

**Palavras-chave:** Plástico. Renovável. Propriedades. Solução.

## ABSTRACT

Generally speaking, simple concrete is understood to be a construction material originating from a mixture of cement and child and coarse aggregates, homogenized with water in exact and well-defined proportions and recyclable materials as devices that foster interest in processing made possible by industrial operations. The application of building materials requires the development and improvement of their properties and construction techniques. In this sense, the use of a material with large-scale consumption such as concrete, when associated with the use of the most recyclable plastics in the world, such as thermoplastics, is adjustable into a possible solution as it presents less than promising on its performance in the areas structural, environmental and socioeconomic factors. The use of renewable and low energy consumption materials is essential in all production areas, especially in civil construction, due to the high energy consumption that this activity requires. The objective of this work was to evaluate the physical-mechanical behavior of concrete with partial replacement of fine aggregate by recyclable polymers. The methodology used consists of carrying out a particle size characterization of the aggregates used and testing the normal concrete and with partial replacement of the fine aggregate by PVC and Polyethylene, to verify its compressive strength and make a comparison with conventional concrete. The partial replacement of the sand was made at three different contents 10, 20 and 30% by PVC and then by Polyethylene in the same proportions, then the slump of fresh concrete and its compressive strength after 28 days of curing was verified. In general, the accumulated result was a drop in the compressive strength of the concrete, although the specimens with 10% replacement content showed a better performance, there was still a drop of 18.64% and 60.64% for the PVC and Polyethylene, the compressive strength also dropped to the replacement with 20% PVC at 30.52% and 36.34% for the 30% content, while for Polyethylene there was a greater drop of 67.50% and 77.56% for the contents of 20% and 30% respectively. The main cause of compressive strength was the increase in voids, which is inversely proportional to the compressive strength of concrete.

**Keywords:** Plastic. Renewable. Properties. Solution.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Poluição do lençol freático por chorume.....	15
<b>Figura 2</b> – Representações esquemáticas de estrutura do PEAD.....	19
<b>Figura 3</b> – Representação esquemática da formação do PVC.....	21
<b>Figura 4</b> – Processo de obtenção do PVC.....	22
<b>Figura 5</b> – Principais aplicações do PVC no Brasil, em 2001.....	22
<b>Figura 6</b> – Fluxograma da metodologia do estudo.....	27
<b>Figura 7</b> – Resíduo de PVC moído.....	30
<b>Figura 8</b> – Resíduo de Polietileno moído.....	31
<b>Figura 9</b> – Ensaio de Abatimento do concreto.....	44
<b>Figura 10</b> – Corpos de provas com substituição parcial do agregado miúdo por polietileno em um teor de 30%.....	46

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Classificação dos Resíduos Sólidos.....	17
<b>Tabela 2</b> – Propriedades térmicas, físicas, elétricas e mecânicas do PEAD.....	20
<b>Tabela 3</b> – Classificação da areia por seu MF.....	24
<b>Tabela 4</b> – Classificação do agregado graúdo por seu DMC.....	25
<b>Tabela 5</b> – Parâmetros de dosagem.....	32
<b>Tabela 6</b> – Consumo de água aproximado.....	33
<b>Tabela 7</b> – Volume compactado seco de agregado graúdo para 1 m <sup>3</sup> de concreto.....	34
<b>Tabela 8</b> – Propriedades granulométricas do agregado miúdo.....	38
<b>Tabela 9</b> – Propriedades granulométricas do agregado graúdo.....	40
<b>Tabela 10</b> – Propriedades granulométricas do PVC.....	41
<b>Tabela 11</b> – Propriedades granulométricas do Polietileno.....	42
<b>Tabela 12</b> – Traço para moldagem dos corpos de prova.....	43
<b>Tabela 13</b> – Abatimento do concreto.....	44
<b>Tabela 14</b> – Resultados do ensaio de compressão axial.....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Curva de Abrams para determinação da relação de $a/c$ .....	33
<b>Gráfico 2</b> – Curva granulométrica do agregado miúdo.....	39
<b>Gráfico 3</b> – Curva granulométrica do agregado graúdo.....	40
<b>Gráfico 4</b> – Curva granulométrica do PVC moído.....	42
<b>Gráfico 5</b> – Curva granulométrica do Polietileno moído.....	43
<b>Gráfico 6</b> – Ensaio de resistência a compressão do concreto.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Cimento Portland
DMC	Diâmetro Máximo Característico
ISO	Organização Internacional de Padronização
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
PVC	Policloreto de Vinila
PE	POLIETILENO

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	14
<b>1.2</b>	<b>Objetivo específico</b> .....	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
<b>2.1</b>	<b>Poluição</b> .....	15
<b>2.2</b>	<b>Reciclagem</b> .....	16
<b>2.3</b>	<b>Classificação dos resíduos</b> .....	16
<b>2.4</b>	<b>Polímeros Termoplásticos</b> .....	17
<b>2.5</b>	<b>Polietileno</b> .....	18
<b>2.6</b>	<b>Policloreto de Vinila (PVC)</b> .....	21
<b>2.7</b>	<b>Cimento Portland</b> .....	23
<b>2.8</b>	<b>Agregado miúdo</b> .....	24
<b>2.9</b>	<b>Agregado graúdo</b> .....	24
<b>2.10</b>	<b>Água de amassamento</b> .....	25
<b>2.11</b>	<b>Concreto</b> .....	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	27
<b>3.1</b>	<b>Materiais utilizados</b> .....	27
<b>3.1.1</b>	<b>Cimento</b> .....	28
<b>3.1.2</b>	<b>Agregado miúdo</b> .....	28
<b>3.1.2.1</b>	<i>Análise granulométrica do agregado miúdo</i> .....	28
<b>3.1.2.2</b>	<i>Massa unitária do agregado miúdo</i> .....	28
<b>3.1.2.3</b>	<i>Massa específica do agregado miúdo</i> .....	29
<b>3.1.3</b>	<b>Agregado graúdo</b> .....	29
<b>3.1.3.1</b>	<i>Análise granulométrica do agregado graúdo</i> .....	29
<b>3.1.3.2</b>	<i>Massa unitária do agregado graúdo</i> .....	29
<b>3.1.4</b>	<b>Agregado de PVC</b> .....	29
<b>3.1.4.1</b>	<i>Análise granulométrica do PVC moído</i> .....	30
<b>3.1.5</b>	<b>Agregado de Polietileno</b> .....	30
<b>3.1.5.1</b>	<i>Análise granulométrica do Polietileno moído</i> .....	31
<b>3.2</b>	<b>Água de amassamento</b> .....	31
<b>3.3</b>	<b>Determinação do traço</b> .....	31

3.4	Ensaio de Abatimento tronco de cone – <i>Slump Test</i> .....	36
3.5	Ensaio de resistência a compressão .....	36
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	38
4.1	Análise granulométrica do agregado miúdo.....	38
4.2	Análise granulométrica do agregado graúdo.....	39
4.3	Análise granulométrica do PVC moído .....	41
4.4	Análise granulométrica do Polietileno moído .....	42
4.5	Definição do traço .....	43
4.6	Ensaio de Abatimento tronco de cone – <i>Slump Test</i> .....	44
4.7	Resistência a compressão .....	45
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	47
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	48

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, algumas pesquisas mostram que a produção de lixo aumenta numa proporção maior que o crescimento populacional, segundo dado do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2020), a geração saiu de 66,7 milhões de toneladas em 2010 para 79,1 milhões em 2019, houve um aumento de 18,59 %, enquanto que nesse mesmo período houve um aumento de 7,82% da população brasileira. Isso evidencia o aumento da produção de lixo por pessoa, atrelado a isso está o descarte de forma irregular de uma porcentagem desses resíduos.

De acordo com uma pesquisa feita pelo Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (2020) cerca de aproximadamente 50% das cidades brasileiras despejam resíduos sólidos de forma irregular e as estatísticas também apontam que mais de 17 milhões de brasileiros não tem acesso a coleta de lixo em suas residências e apenas cerca de 4% dos resíduos são reciclados.

Da Silva (2015) relata que no Brasil e no mundo, o plástico é visto como o grande vilão do meio ambiente, principalmente por dois motivos: sua significativa representatividade na composição dos resíduos sólidos e por ser descartado, na maioria das vezes, de forma inadequada, onde uma boa parte deste plástico é classificado como termoplástico.

Segundo Mattar (2012), os termoplásticos são materiais que podem ser derretidos a determinadas temperaturas e resfriados com irrelevantes perdas de propriedades físicas, podendo ser solubilizados com solventes específicos. Entre os termoplásticos podemos citar o Polietileno, Polipropileno, Poliamidas, Policarbonato, Acrilnitrila Butadieno Estireno, Policloreto de Vanila. Estes materiais apresentam propriedades de outros materiais de modo a sobrepor-los, despertando possibilidades de sua aplicação ao concreto em substituição ao agregado miúdo.

Concreto é um material heterogêneo composto por aglomerante (cimento), água, agregado miúdo, agregado graúdo, que pode conter ou não aditivos/adições, cujos são compostos adicionados em pequenas porcentagens. Quando misturados formam uma liga que poderá ser moldada, assumindo em diferentes formas e possuindo diversas aplicações. Monteiro (2017) vai dizer que quando utilizados nas construções, os elementos estruturais de concreto devem ser projetados para atender tanto aos requisitos de solicitações mecânicas quanto aos de resistência ao fogo.

No Brasil não existem grandes variedades de pesquisas voltadas para substituição do agregado miúdo por termoplástico, por isso, uma vez desenvolvidas pesquisas em que estes materiais são aplicados na produção de concreto, haverá maior probabilidade de solucionar problemas de descarte de resíduos sólidos no meio ambiente.

Desta forma, devido ao descarte inadequado do plástico, e o grande consumo de concreto no Brasil, se faz necessário estudos para a reutilização do termoplástico, intuito da pesquisa proposta.

A poluição pelos polímeros pode ser minimizada com o aumento da reciclagem nas diversas áreas de indústria e serviços, sendo esse o objetivo principal da pesquisa.

### **1.1 Objetivo geral**

Analisar as propriedades físico-mecânicas do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por termoplásticos.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar ensaio de composição granulométrica dos agregados miúdo e graúdo;
- Definir traço de padrão do concreto para um fck de 25 Mpa, através do método ABCP/ACI;
- Confeccionar corpos-de-prova, com substituição de 10%, 20% e 30% da areia natural por polímeros;
- Determinar a resistência à compressão axial dos corpos de prova do concreto;
- Determinar o abatimento tronco de cone do concreto.



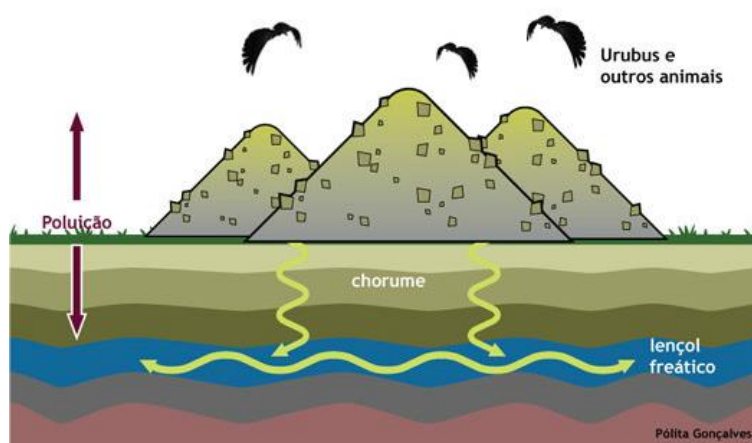
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Poluição

Em pesquisa realizada pelo IBGE (2006), o Brasil gera 228.413 toneladas diárias de resíduos sólidos, implicando com isso, segundo Mucelin e Bellini (2008), numa produção de 1,2 kg de resíduo por habitante. Segundo as fichas técnicas da Associação Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 45% desse lixo é reciclável, mas somente 2% é de fato reciclado e o restante é depositado em lixões, aterros e lugares inapropriados.

É sabido que quando os lixos são acumulados eles produzem um líquido denominado de chorume como apresenta a Figura 1, esse possui coloração escura com cheiro desagradável, a substância gerada atinge as águas subterrâneas (aquífero e lençol freático), além disso, existe a contaminação dos solos e das pessoas que mantêm contato com os detritos, deslizamentos de encostas, assoreamento de mananciais, enchentes e estrago na paisagem.

**Figura 1** – Poluição do lençol freático por chorume



Fonte: AVS AMBIENTAL (2017).

Silva (2013) relata que dentre os lixos destacam-se a disposição inadequada dos resíduos sólidos, principalmente os feitos de plástico. O lixo plástico representa boa parte das toneladas de detritos jogados no meio ambiente, sendo ele um dos principais contribuintes para o esgotamento de aterros e lixões, dificultam a

degradação de outros resíduos, são ingeridos por animais causando sua morte, poluem a paisagem, causam problemas na rede elétrica (sacolas que se prendem em fios de alta tensão), e muitos outros tipos de impactos ambientais.

Segundo Souza (2015) antes do processo de modernização de embalagens dos produtos industrializados, eram utilizados papeis e papelões, mas após passar esse período surgiram as embalagens plásticas derivadas de polímeros. Por terem baixo custo e outras dezenas de características vantajosas, são utilizadas em larga escala até os dias de hoje. Durante muitos anos centenas de toneladas de embalagens plásticas vem sendo depositadas em aterros e lixões, tais materiais necessitam de 100 a 150 anos para se degradarem, tornando os polímeros como as garrafas PET muito prejudiciais ao meio ambiente.

## **2.2 Reciclagem**

Com o aumento do consumismo no mundo inteiro combinado com o aumento da população, um dos maiores desafios ambientais é a enorme quantidade de resíduos produzidos pela população, além de que segundo Barbosa (2014) existe uma grande crescente de exploração dos recursos naturais e em sua maioria não são renováveis

Cavalcante (2003) afirma que a natureza é capaz de se restaurar dos danos sofridos, mas é necessário que exista um equilíbrio entre a poluição, extração e reciclagem. Contudo, a realidade é totalmente oposta, em que existe um desequilíbrio bastante acentuado, esse equilíbrio pode ser chamado de sustentabilidade, termo utilizado para processos ou sistemas que é capaz de cumprir com as necessidades do presente sem comprometer as mesmas necessidades das gerações futuras em termos ambientais.

## **2.3 Classificação dos resíduos**

Para proceder com os vários tipos de resíduos são necessários saber quais suas características, sendo assim a NBR 10004 (ABNT,2004) classifica os resíduos sólidos

quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Por definição os resíduos sólidos são:

Resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT; NBR 10004, 2004, p. 1).

Os resíduos possuem características muito variáveis, tornando difícil a identificação, por isso a NBR 10004 (ABNT,2004) criou 4 classes para classificação baseada nas características químicas, físicas e biológicas de cada resíduo como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1 – Classificação dos Resíduos Sólidos**

Classes	Condições
I	Perigosos
II	Não Perigosos
IIA	Não Perigosos e Não Inertes
IIB	Não Perigosos e Inertes

Fonte: Adaptado de NBR 10004 (ABNT, 2004)

## 2.4 Polímeros termoplásticos

O primeiro polímero sintético criado foi a baquelite, por Barkeland, foi bastante utilizado na fabricação de peças para carros e, posteriormente, o náilon que foi produzido por Wallace, material que ainda hoje é muito utilizado em diversas peças industriais. Souza (2015) fala que os polímeros demoraram para se tornarem conhecidos, mas ao passar dos anos, houve a principal mudança para aumentar a produção de polímeros, que foi a inovação das embalagens de produtos industrializados, fazendo com que essa demanda aumentasse e mais polímeros fossem criados devido suas características favoráveis e baixo custo na produção.

Segundo Lazzarotto (2016) o emprego dos polímeros, nos diversos segmentos industriais (embalagens, utensílios domésticos e eletrodomésticos), aumentou significativamente nos últimos anos e isto não é diferente no segmento de embalagem, esse aumento influencia diretamente na produção de resíduos plásticos, afetando o

meio ambiente e obrigando a população despertar para a reciclagem desses materiais. Para Negrão e Camargo (2008), a popularização dos polímeros deve-se ao seu baixo custo de produção, peso reduzido, elevada resistência e sua versatilidade.

Reconhecendo a necessidade do reaproveitamento desses resíduos, eles foram identificados com um grande potencial na sua reutilização por apresentarem características compatíveis com a necessidade. Piatti e Rodrigues (2005) afirmam que os polímeros apresentam diferentes propriedades de acordo com sua composição química. Por isso existem vários tipos, em específico os polímeros termoplásticos que são compostos de longos fios lineares ou ramificados. A vantagem deste material está na remodelagem, pois estes plásticos podem ser reciclados várias e várias vezes.

## **2.5 Polietileno**

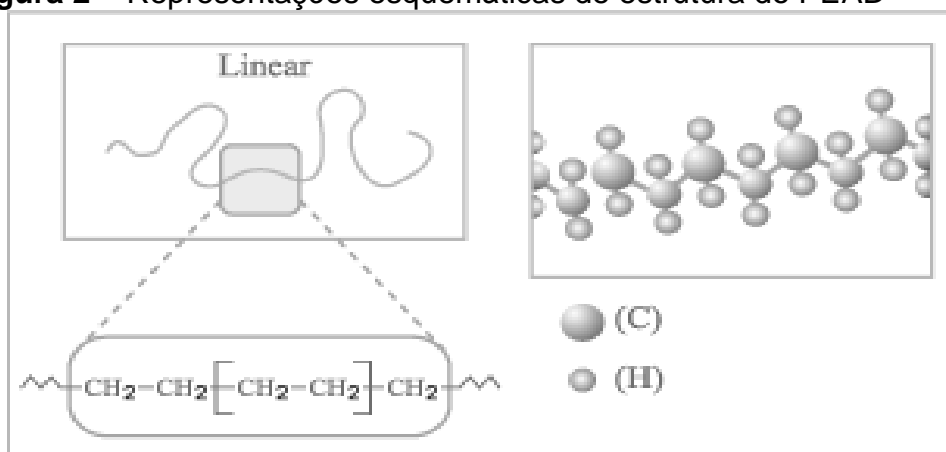
A história do polietileno começa no início da década de 1930, devido a gestão de pesquisa do I.C.I em Winnington que fez a sugestão para que o grupo de físico-química realizasse trabalhos que envolvessem técnicas especiais, um dos projetos era a verificação em altas temperaturas, sob alto vácuo e altas pressões sobre 50 reações químicas, onde todas fracassaram e o resultado de uma dessas reações originou o que se chama de polietileno. Perrin (1953) concluiu que em um dos testes com tolueno e etileno, o tolueno ficou turvo e um dos cientistas conseguiu isolar vestígios de um pó branco, mas somente depois de um tempo ele soube que era o polietileno.

Segundo Negrão e Camargo (2008) o polietileno de baixa densidade (PEBD) foi um dos primeiros plásticos criados a partir da polimerização do etileno sob alta pressão, usado em sacos, filmes, utensílios domésticos, tubos, brinquedos, isolamento de cabos, etc. Já o polietileno de alta densidade apresenta estrutura mais sólida e resistência química superior se comparado ao polietileno de baixa densidade.

Lazzaroto (2016) afirma que suas principais características e propriedades, além da resistência química, é o isolamento térmico, não inerte a ácidos oxidantes, a baixa resistência mecânica, a resistente ao impacto, a baixa permeabilidade e a baixa resistência aos raios ultravioletas e ozônio.

O polietileno de alta densidade (PEAD), apresenta como principal diferença a polimerização sob baixa e alta pressão e do tipo de sistema catalizador. Segundo Coutinho; Mello e Maria (2003) um dos primeiros processos catalíticos utilizados para o processamento desse tipo de polímero foi uma combinação de trietil-alumínio e tetracloreto de titânio conforme apresentado na Figura 2.

**Figura 2** – Representações esquemáticas de estrutura do PEAD



**Fonte:** Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações (2003, p. 4).

Comparando o polietileno de baixa e alta densidade é possível distingui-lo por:

Pereira et. al. [9] fizeram um estudo comparativo da estrutura cristalina lamelar dos polietilenos de alta e baixa densidades e os resultados obtidos confirmaram que as cadeias do PEAD são dobradas e os segmentos entre as dobras contêm cerca de 100 átomos de carbono, enquanto no PEBD, as cadeias são estendidas, com segmentos de cerca de 73 átomos de carbono na zona cristalina, ligados às zonas amorfas, as quais contêm dobras longas e terminais de cadeia (COUTINHO; MELLO e MARIA, 2003, p. 4).

Coutinho; Mello e Maria (2003) afirmam que existem características que diferenciam o polietileno de baixa e alta densidade, tais como o alinhamento das cadeias, fazendo com que o envelopamento seja mais eficaz, as forças de Van de Waals (intermoleculares) agem mais intensamente no PEAD, isso gera uma maior cristalinidade e a fusão pode acontecer em uma temperatura maior. As características elétricas são pouco afetadas devido à densidade e ao peso. Já as características mecânicas têm influência direta com o peso, principalmente pela questão da cristalinidade final, a Tabela 2 ilustra algumas características do PEAD.

**Tabela 2 – Propriedades térmicas, físicas, elétricas e mecânicas do PEAD**

Propriedades	Altamente linear	Baixo grau de ramificação
Densidade, g/cm <sup>3</sup>	0,962 - 0,968	0,950 - 0,960
Índice de refração	1,54	1,53
Temperatura de fusão, °C	128 - 135	125 - 132
Temperatura de fragilidade, °C	-140 - -70	-140 - -70
Condutividade térmica, W/(m.K)	0,46 - 0,52	0,42 - 0,44
Calor de combustão	46	46
Constante dielétrica à 1 Mhz	2,3 - 2,4	2,2 - 2,4
Resistividade superficial Ω	10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup>
Resistencia volumétrica Ω.m	1017 - 1018	1017 - 1018
Resistencia dielétrica kV/mm	45 - 55	45 - 55
Ponto de escoamento, MPa	28 - 40	25 - 35
Módulo de tração, Mpa	900 - 1200	800 - 900
Resistência a tração, MPa	25 - 45	20 - 40
Alongamento, %		
No ponto de escoamento	5 - 8	10 - 12
No ponto de ruptura	50 - 900	50 - 1200
Dureza		
Brinell, Mpa	60 - 70	50 - 60
Rockwell	R55, D60 - D70	
Resistência ao cisalhamento, MPa	20 - 38	20 - 36

**Fonte:** Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações (2003, p. 5).

Segundo Coutinho, Melo e Maria (2003) a diminuição da cristalinidade acompanhado das características mecânicas pode causar o aumento no escoamento na ruptura e a redução da resistência à tração. Como existe uma proporcionalidade da resistência a tração com a resistência a compressão, essa também é diminuída. O PEAD pode ser aplicado nos diversos segmentos industriais dependendo do tipo de processo como o de injeção na fabricação de baldes e bacias, bandejas de plástico, brinquedos e outros. No processo de moldagem por sopro é possível produzir bombonas, tanques e tambores, frascos de embalagens, já no processo por exaustão podem ser aplicados nos revestimentos de fios e tubulações.

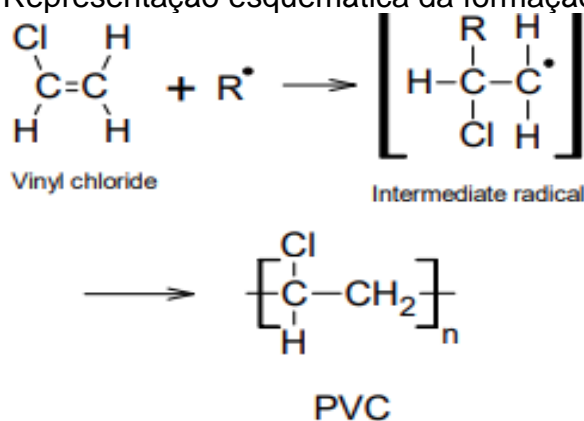
## 2.6 Policloreto de Vinila (PVC)

Em 1872 foi obtido a primeira polimerização do cloreto de vinila e obtenção do PVC. Baumann em 1872, descreveu a mudança do monômero cloreto de vinila (VC) para um produto sólido branco, de acordo com a descrição do pesquisador esse produto se assemelha às características do PVC.

Segundo Nunes (2002) Baseado no avanço do processo de fabricação do PVC iniciou-se a produção para comércio desse material. Nos dias de hoje o PVC é o segundo termoplástico mais utilizado em todo o mundo, sendo necessário 27 milhões de toneladas para suprir as necessidades dos usuários no ano de 2001, nesse mesmo ano o Brasil foi responsável por apenas 2,5% desse consumo, uma pequena parcela comparada com países mais desenvolvidos.

O processo de polimerização se dá através de radicais livres de cloreto de vinila que, por sua vez, produz um polímero de coloração branca. A Figura 3 mostra como acontece a polimerização do cloreto de vinila.

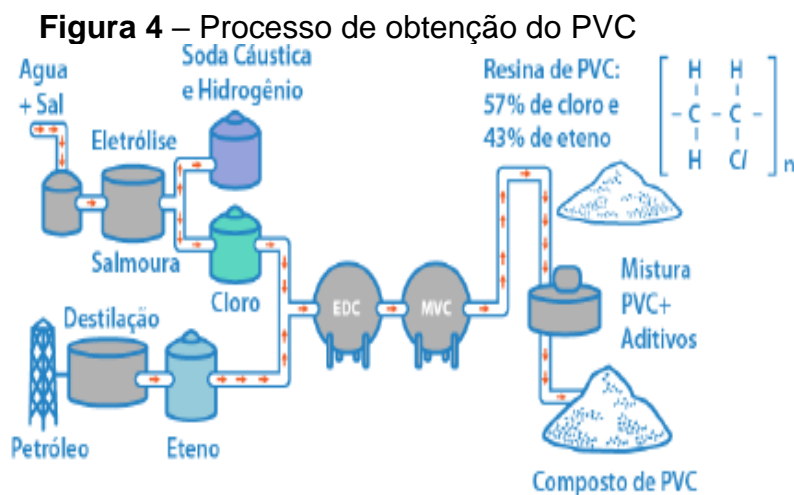
**Figura 3** – Representação esquemática da formação do PVC



Fonte: Santos (2009, p. 3).

A composição do PVC, segundo Andrade (2002), é de, aproximadamente, 57% de Cloro, proveniente da eletrólise realizada com sal marinho, e 43% de Eteno, que é um derivado do petróleo. Junto com a adição de algumas substâncias na sua fórmula, como plastificantes, estabilizadores e entre outros componentes fazem com que haja uma alteração nas características do PVC como a baixa ou alta densidade, flexíveis ou rígidos, transparentes ou opacos, brilhante ou fosco, colorido ou não.

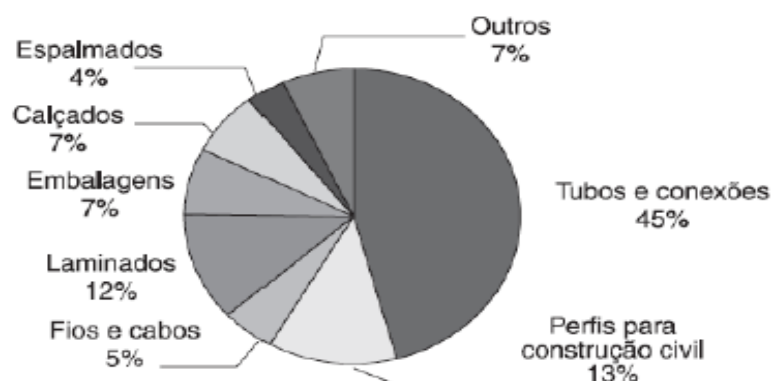
O processo de produção do PVC é ilustrado na Figura 4 pelo esquema de etapas necessárias para obtenção do composto final.



Fonte: Instituto Brasileiro do PVC (2019, p.17)

A principal aplicação do PVC é na fabricação de tubos para encanamento de água e esgoto. Em resposta a utilização desse termoplástico Roda (2014) diz que o grande diferencial do PVC perante aos outros termoplásticos são a sua versatilidade, a inclusão de plastificantes de baixo peso molecular deixam a resina flexível. Ele também é totalmente atóxico e inerte, suas principais propriedades são alta resistência química, resistente a ação de fungos e bactérias, bom isolamento térmico, elétrico e acústico, impermeável a gases e líquidos, longa vida útil e não propaga chamas. A Figura 5, apresenta as principais utilizações do PVC no Brasil.

**Figura 5 – Principais aplicações do PVC no Brasil, em 2001**



Fonte: Nunes (2002)



Existem algumas variações de PVC dependendo do processo de produção do mesmo, todavia, o tipo de PVC mais utilizado é o tradicional empregado na construção civil.

## **2.7 Cimento Portland**

O cimento é um dos materiais mais utilizados em todo mundo, pelo fato de ser o principal componente do concreto. Segundo Kaefer (1998), Joseph Aspdin, na Inglaterra, no ano de 1824, notou que o pó oriundo da queima de argila com pedras calcárias, reagia quando entrava em contato com a água. Ele deu esse nome (Portland) ao cimento, devido a semelhança com as pedras existentes na ilha Portland.

Mehta e Monteiro (2014) afirmam que o cimento é um aglomerante hidráulico, que endurecem pela ação exclusiva da água, obtido pela pulverização de clínquer, com gesso e adições normatizadas. O principal composto do cimento é o clínquer, produzidos a partir da mistura de argila, ferro e calcário. Em sua composição o cimento é composto basicamente por cal (CaO), sílica (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e uma certa proporção de magnésia (MgO).

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002) existem vários tipos de cimentos Portland disponíveis no mercado, são classificados como CPI – Cimento Portland Comum que é feito somente por gesso e clínquer; CPII Cimento Portland Composto que além do clínquer e gesso possui outros materiais que podem ser escoria de alto forno, material pozolânico e material carbonático; CPIII – Cimento Portland de Alto Forno que possui cerca de 35 a 75% de escórias de alto forno; CPIV – Cimento Portland Pozolânico constituído por 15 a 50% de material pozolânico; e CPV – Cimento de Alta Resistência Inicial com uma pequena porcentagem de material carbonático.

## 2.8 Agregado miúdo

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) o agregado miúdo é aquele que possui os grãos com 85% das partículas passantes na peneira 4,75mm.

O agregado miúdo tem a função de preencher os espaços vazios do concreto existentes entre o aglomerante e o agregado graúdo, sendo que a utilização desse agregado também diminui bastante os custos na produção do concreto, diminuindo o consumo de cimento na sua dosagem.

A principal característica necessária para classificação de uma areia como agregado miúdo é seu módulo de finura, a Tabela 3 apresenta as classificações de acordo com os intervalos de módulo de finura.

**Tabela 3** – Classificação da areia por seu MF.

Módulo de Finura	
Muito fina	de 1,35 a 2,25
Fina	de 1,71 a 2,85
Média	de 2,11 a 3,38
Grossa	de 2,71 a 4,02

Fonte: Adaptado de AMBROZEWICZ (2012, p. 51)

## 2.9 Agregado graúdos

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) o agregado graúdo é aquele que possui grãos que ficam 85% retidos na peneira 4,75mm, e em quase todas as vezes é a brita, porém existem outros tipos de agregados graúdos como argila expansiva, resto de metralhas das construções e entre outros materiais.

A brita é o material mais utilizado como agregado graúdo e tem como finalidade diminuir o consumo do cimento, diminuir a retração do concreto e garantir sua resistência à compressão. A dosagem do concreto depende do formato da brita que por sua vez pode ser classificada de acordo com o diâmetro máximo característico, principal característica desse agregado, conforme classificação é apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4** – Classificação do agregado graúdo por seu DMC.

Diâmetro Máximo Característico	
Brita 0	4,8 mm a 9,5 mm
Brita 1	9,5 mm a 19 mm
Brita 2	19 mm a 25 mm
Brita 3	25 mm a 38 mm
Brita 4	38 mm a 76 mm

Fonte: Adaptado de AMBROZEWICZ (2012, p. 47)

## 2.10 Água de amassamento

A água de amassamento serve para realizar as reações de hidratação do cimento responsável pela pega e endurecimento do mesmo. A água utilizada deve ser potável e livre de impurezas para não comprometer a resistência compressão do concreto e evitar possíveis patologias futuras. Além disso a água também é responsável pela trabalhabilidade do concreto, característica que se deve ter cuidado, pois o fator água/cimento é inversamente proporcional a resistência à compressão do concreto, em outras palavras, quanto mais água menor sua resistência à compressão.

É importante salientar que nem sempre uma água boa para beber é boa para fazer concreto, segundo instrução da NBR 15900 (ABNT, 2009) contaminações na água de amassamento do concreto por substâncias como açúcares, fosfatos, nitratos, chumbo e zinco podem alterar os tempos de pega e resistência a compressão do concreto, é por essas questões que na maioria das vezes não é possível utilizar água para beber devido grande concentração de açucares e citrato.

## 2.11 Concreto

O concreto é o material construtivo mais utilizado do mundo devido suas características e resultados onde é empregado. Pode-se encontrá-lo nas casas de alvenaria, nas rodovias, nas pontes e na maioria das construções. Segundo Pedrosa (2009) o concreto é uma pedra artificial que se molda à inventividade construtiva do homem, que depois de endurecido tem resistência similar às das rochas naturais e, quando no estado fresco, é composto plástico: possibilita sua modelagem em formas variadas.

Segundo Lima (2014) o concreto é uma mistura de cimento (aglomerante), sendo o cimento Portland o mais utilizado, agregados miúdos e graúdos, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento.

Pedrosa (2009) comenta que o concreto é utilizado nas construções em grandes escalas. Então conclui-se que os custos são relativamente altos, diante dessa realidade uma porcentagem dos principais componentes do concreto pode ser substituída por outros elementos, pensando também na reciclagem e a não agressão ao meio ambiente, elementos como os polímeros termoplásticos podem ser uma boa solução para esses problemas.

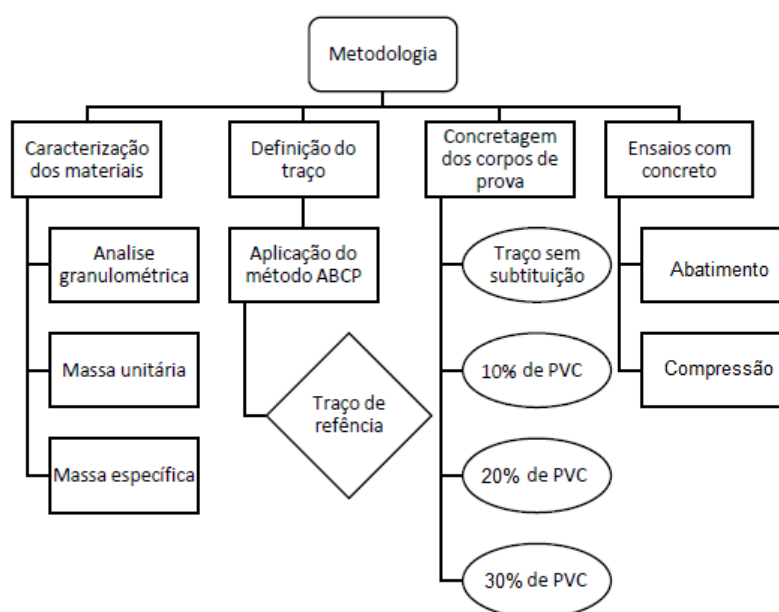
Através de vários estudos na área de materiais da construção Assis e Souza (2014) constatou a existência de vários materiais incorporados ao concreto onde os mesmos são substituídos pelos materiais usuais do concreto, ou até mesmo como adição, colaborando para a diminuição dos custos e aperfeiçoamento de características específicas. É por isso que se tem intensificado as pesquisas nesse ramo de concretos alternativos, que seja possível o emprego de materiais recicláveis para, principalmente, gerar um benefício ao meio ambiente e a humanidade.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia experimental foi executada nos laboratórios de geotecnia e estruturas do curso de Engenharia Civil, Campus VIII, da Universidade Estadual da Paraíba em diferentes etapas.

A primeira etapa consistiu na coleta dos polímeros para moagem. Em seguida foi realizada a caracterização dos agregados miúdos, graúdos e dos termoplásticos recicláveis, essa caracterização se baseou no ensaio de composição granulométrica. Em posse dos dados granulométricos definiu-se o traço do concreto para moldagem dos corpos de prova, foram esses, padronizados sem nenhuma alteração e com substituição parcial do agregado miúdo por 10%, 20% e 30% de polietileno e PVC. O fluxograma experimental pode ser visualizado na Figura 6.

**Figura 6 – Métodos de Trabalho**



Fonte: Autor (2021)

#### 3.1 Materiais utilizados

Seguem abaixo os materiais utilizados no desenvolvimento da pesquisa e que serão apresentados nos tópicos a seguir.

### **3.1.1 Cimento**

O tipo de aglomerante utilizado foi o CII-F-32 adquirido no comércio local da cidade de Araruna-PB, um dos cimentos mais utilizados do Brasil.

O fabricante Mizu (2019) informa que a massa específica média para o cimento CII-F é de 3,15 g/cm<sup>3</sup>, foram feitos ensaios baseados na NBR 14725, para preencher a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ). Não foram feitos experimentos adicionais para comprovar essa medida de massa específica devido às limitações de laboratório, portanto, considerou-se o dado do fornecedor.

### **3.1.2 Agregado miúdo**

O agregado miúdo utilizado foi a areia extraída na própria região de Araruna-PB onde foi feito o estudo.

#### *3.1.2.1 Análise granulométrica do agregado miúdo*

De acordo com as instruções da NBR 248 (ABNT,2003) determinou-se a composição granulométrica da areia utilizada como agregado miúdo. A análise granulométrica foi feita com as peneiras de série normal como consta na NM-ISO 3310-1 (ABNT, 1997).

Primeiramente, foi colocada toda a amostra na peneira superior com abertura de 4,8 mm e foi agitada manualmente como sugere o item 5.2.10 da NBR 248 (ABNT,2003). Posteriormente, foi anotada a massa retida na peneira e executado o mesmo procedimento nas demais peneiras 2,4, 1,2, 0,6, 0,3 e 0,15 mm. Após a obtenção de todos os dados foi traçada a curva granulométrica, determinando o módulo de finura e diâmetro máximo.

#### *3.1.2.2 Massa unitária do agregado miúdo.*

Devido às limitações laboratoriais não foi possível executar o ensaio de massa unitária da areia, mas baseado nas características do ensaio de granulometria e módulo de finura da areia foi adotado um valor de acordo com os valores já existentes em artigos e pesquisas anteriores.

### 3.1.2.3 *Massa específica do agregado miúdo*

Da mesma forma da massa unitária, a massa específica adotada foi a partir de valores de referência disponíveis na literatura de acordo com a semelhança das características da areia.

### 3.1.3 **Agregado graúdo**

Foi utilizada a brita como agregado graúdo comprada no comércio local de Araruna-PB, de acordo com ensaio granulométrico, concluiu-se que a brita utilizada é do tipo 1 que tem dimensões entre 9,5 mm a 19 mm.

#### 3.1.3.1 *Análise granulométrica do agregado graúdo*

Para a análise granulométrica da brita foram seguidas as instruções disponíveis na NBR 248 (ABNT,2003), mesma norma utilizada na graduação dos agregados miúdos, por isso os passos seguidos foram os mesmos executados no item 3.1.2.1 deste trabalho.

#### 3.1.3.2 *Massa unitária do agregado graúdo*

Para a obtenção do valor da massa unitária foi adotado um valor existente na literatura, baseado na granulometria e diâmetro máximo da brita em estudo.

### 3.1.4 **Agregado de PVC**

Inicialmente o PVC utilizado para realizar a pesquisa seria oriundo de reciclagem, ou seja, de restos de descartes de materiais à base de PVC que seriam coletados para serem triturados posteriormente. Como a pesquisa se desenvolveu em meio a pandemia houve a impossibilidade de recolher os materiais e triturá-los. Por isso foi utilizado o PVC já moído como mostra a Figura 7.

**Figura 7 – Resíduo de PVC moído**



Fonte: Autor (2021)

#### *3.1.4.1 Análise granulométrica do PVC moído.*

Não existe nenhuma norma específica para o ensaio de granulometria do PVC, porém como o intuito da pesquisa é utilizá-lo como substituto do agregado miúdo, o ensaio de granulometria seguiu os mesmos critérios elaborados para esse agregado que estão descritos no item 3.2.1.1.

#### **3.1.5 Agregado de Polietileno**

Embora o polietileno utilizado não tenha sido fruto de uma reciclagem do pesquisador, pelos mesmos motivos descritos no item 3.1.4, o material foi adquirido de uma fábrica de sacolas, em que todo seu material utilizado é fruto de reciclagem. Por isso não foi necessário fazer nenhuma alteração do produto visível na Figura 8



**Figura 8** – Resíduo de Polietileno moído



Fonte: Autor (2021)

#### 3.1.5.1 *Análise granulométrica do Polietileno moído.*

Como discutido no item 3.1.4.1 também não existe nenhuma norma para ensaio de granulometria do polietileno, mas foram utilizados os mesmos critérios elaborados para o agregado miúdo que estão descritos no item 3.2.1.1.

### **3.2 Água de amassamento**

A água utilizada é oriunda da rede pública de abastecimento de água, fornecida pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA). A água de amassamento utilizada está dentro dos critérios estabelecidos pela NBR 15900 (ABNT, 2009) responsável por padronizar a água na produção de concreto.

### **3.3 Determinação do traço**

Foi utilizado o método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP/ACI). Além de ser um método bastante utilizado pela simplicidade, em um estudo de comparação da resistência à compressão do concreto entre os métodos, Baggio (2000) chegou à conclusão de que as maiores resistências à

compressão do concreto foram obtidas a partir de um traço encontrado pelo método ABCP/ACI.

Como o intuito dessa pesquisa é a verificação do comportamento do concreto em meio a substituição do agregado miúdo, caso gere um resultado satisfatório a ideia é utilizar esse concreto nas edificações de zona urbana, por isso considera-se a classe II de agressividade segundo a NBR 6118 (ABNT, 2003) e um concreto com resistência à compressão de 25 MPa. De acordo com a aplicação do concreto e a unidade de medida utilizada, são definidos alguns parâmetros para encontrar o traço, esses parâmetros podem ser visualizados na Tabela 5

**Tabela 5 – Parâmetros de dosagem.**

Parâmetros de dosagem		
fck	25	Mpa
Sd	4	Mpa
Abatimento	40 a 60	mm
Condições de exposição	Urbana	

Fonte: Autor, 2021

Em relação à resistência à compressão após os 28 dias de cura, a mesma foi calculada através da Equação 1

$$f_{c_{28}} = f_{c_k} + 1,65 \times Sd \quad (1)$$

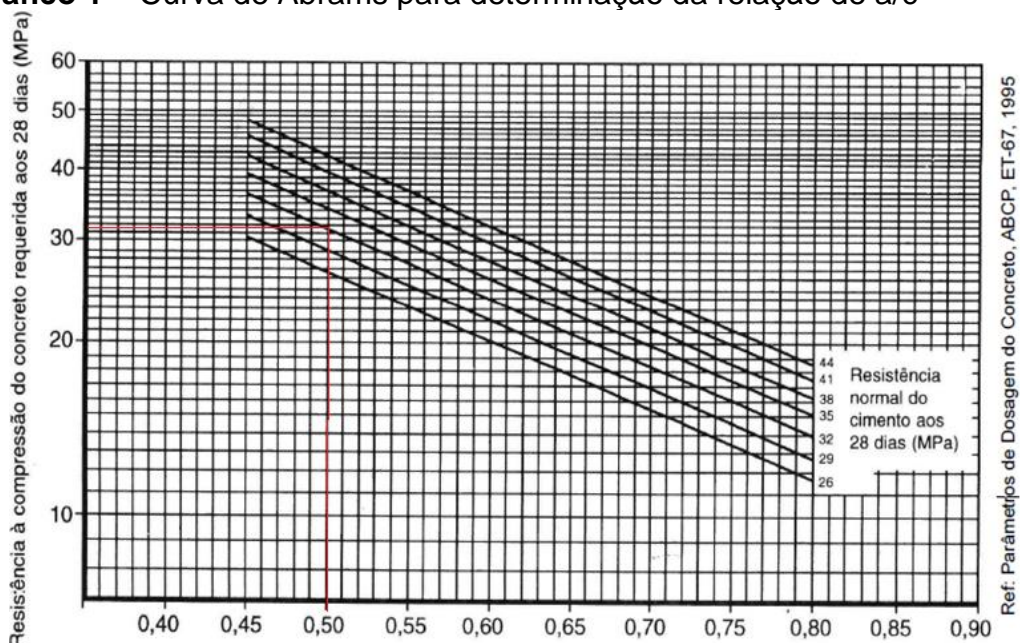
Onde:

$f_{c_{28}}$  – Resistência de dosagem aos 28 dias (MPa)

$f_{c_k}$  – Resistência característica à compressão (MPa)

$Sd$  – Desvio padrão (MPa)

Com isso, obteve-se uma resistência-alvo  $f_{c_{28}} = 31,6 \text{ MPa}$ , que será utilizada para determinar o fator água/cimento (a/c) de acordo com o Gráfico 1.

**Gráfico 1** – Curva de Abrams para determinação da relação de a/c

**Fonte:** Rodrigues (1998).

Diante disso, o próximo passo foi determinar o consumo de água ( $C_a$ ) descrito na Tabela 6, de acordo com diâmetro máximo ( $D_{máx}$ ) do agregado graúdo e o abatimento do concreto.

**Tabela 6** – Consumo de água aproximado.

Abatimento (mm)	Consumo de água (L/m³)				
	D <sub>máx</sub> (mm)				
	9,5	19	25	31,5	37,5
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 120	230	205	200	195	190

**Fonte:** Adaptado de SANDOVAL, COUTO E TORALLES (2018, p. 187)

Sendo assim, o consumo de cimento pode ser calculado a partir da Equação 2

$$C = \frac{C_a}{a/c} \quad (2)$$

Onde:

C – Consumo de cimento (kg/m³)

Ca – Consumo de água (L/m<sup>3</sup>)

a/c – Relação água cimento

O volume aparente do agregado graúdo a ser utilizado, para cada metro cúbico de concreto é encontrado em função do D<sub>máx</sub> e do módulo de finura (MF) da areia a partir da Tabela 7.

**Tabela 7** – Volume compactado seco de agregado graúdo para 1 m<sup>3</sup> de concreto.

V <sub>c</sub> de agregado graúdo por metro cúbico de concreto.					
MF (da areia)	D <sub>máx</sub> (mm)				
	9,5	19	25	31,5	37,5
1,6	0,665	0,79	0,815	0,84	0,865
1,8	0,645	0,77	0,795	0,82	0,845
2	0,625	0,75	0,775	0,8	0,825
2,2	0,605	0,73	0,755	0,78	0,805
2,4	0,585	0,71	0,735	0,76	0,785
2,6	0,565	0,69	0,715	0,74	0,765
2,8	0,545	0,67	0,695	0,72	0,745
3	0,525	0,65	0,675	0,7	0,725
3,2	0,505	0,63	0,655	0,68	0,705
3,4	0,485	0,61	0,635	0,66	0,685
3,6	0,465	0,59	0,615	0,64	0,665

**Fonte:** Adaptado de SANDOVAL, COUTO E TORALLES (2018, p. 188)

Portanto, o consumo da brita pode ser encontrado de acordo com a Equação 3.

$$Cb = Vc \times \rho c \quad (3)$$

Onde:

Cb – Consumo de brita (kg/m<sup>3</sup>)

Vc – Volume compactado por m<sup>3</sup> de concreto (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

$\rho c$  – Massa unitária compactada do agregado graúdo.

A partir da Equação 4 é possível calcular o volume do agregado miúdo para um metro cubico.

$$Vm = 1 + \frac{c}{dc} + \frac{cb}{db} + \frac{ca}{da} \quad (4)$$

Onde:

$Vm$  – Volume do agregado miúdo por  $m^3$  de concreto ( $m^3/m^3$ )

$C$  – Consumo de cimento ( $kg/m^3$ )

$Ca$  – Consumo de água ( $L/m^3$ )

$Cb$  – Consumo de brita ( $kg/m^3$ )

$dc$  – Massa específica do cimento

$db$  – Massa específica da brita

$da$  – Massa específica da água

Em seguida a partir da Equação 5 determina-se o consumo do agregado miúdo.

$$Cm = Vm \times dm \quad (5)$$

Onde:

$Cm$  – consumo de agregado miúdo ( $kg/m^3$ )

$Vm$  – volume do agregado miúdo por  $m^3$  de concreto ( $m^3/m^3$ )

$dm$  – massa específica do agregado miúdo

Em posse de todas as informações sobre o consumo para um metro cúbico de concreto é possível determinar o traço a partir da Equação 6.

$$1: \frac{Cm}{c} : \frac{Cb}{c} : a/c \quad (6)$$

Onde:

$C$  – Consumo de cimento ( $kg/m^3$ )

$Cm$  – Consumo de agregado miúdo ( $kg/m^3$ )

$Cb$  – Consumo de brita ( $kg/m^3$ )

$a/c$  – Relação água/cimento

O traço encontrado foi utilizado como referência para comparar o concreto sem substituição com os concretos substituídos por polímeros nas porcentagens de 10%, 20% e 30%, fazendo a troca em função do peso do agregado miúdo, por isso não é preciso levar em consideração sua massa unitária.

### **3.4 Ensaio de abatimento tronco de cone – *slump test***

O ensaio em questão serve para medir o grau de abatimento do concreto, essas especificações se tornam ideais dependendo do uso do concreto. Este ensaio foi realizado obedecendo as diretrizes da NBR NM 67 (ABNT, 1998). De modo geral o ensaio consiste em moldar um cone, sob uma placa metálica em uma superfície plana, com concreto. A moldagem é feita por camadas e a cada camada são deferidos 25 golpes com uma haste metálica até completar 3 camadas e preencher todo o molde, após a moldagem remove-se o molde, coloca-o de cabeça para baixo ao lado do concreto, em seguida apoia a haste sobre o cone e com auxílio de uma fita métrica mede-se o quanto o concreto foi abatido.

### **3.5 Ensaio de Resistência à compressão**

O principal ensaio desse trabalho é o de resistência à compressão, porque é a característica mais importante do concreto, para isso o ensaio foi realizado baseado nas diretrizes da NBR 5739 (ABNT, 2018).

Primeiramente, foram moldados 3 corpos de prova padrão e depois 3 com cada porcentagem de substituição (10%, 20% e 30%) para cada polímero, todos normatizados, como a norma sugere que o ensaio seja feito em triplicata, para obtenção de um resultado mais correto foram moldados um total de 21 corpos de prova.

A moldagem dos corpos de provas é feita após a aplicação de desmoldante no mesmo. O preenchimento com concreto é realizado em duas camadas e a cada camada são dados 12 golpes de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015). Na última camada é necessário fazer o rasamento da superfície para que o corpo de prova se encaixe perfeitamente na prensa.

Em seguida, depois de 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e submersos em água por um período de 28 dias para depois serem submetidos a cargas de compressão, com velocidade constante, em uma prensa hidráulica. Quando a prensa para de aplicar tensão significa que o corpo de prova chegou à ruptura e a sua resistência à compressão é o limite resistido que aparece no painel.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse tópico serão abordados os resultados de todos os ensaios descritos na metodologia e algumas discussões sobre eles.

### 4.1 Análise granulométrica do agregado miúdo

O ensaio foi realizado para verificar se o agregado serve para ser utilizado na produção de concreto, além de definir o traço. Na Tabela 8 encontram-se os resultados do ensaio, a partir desses dados foi gerada a curva granulométrica que está ilustrada no Gráfico 2.

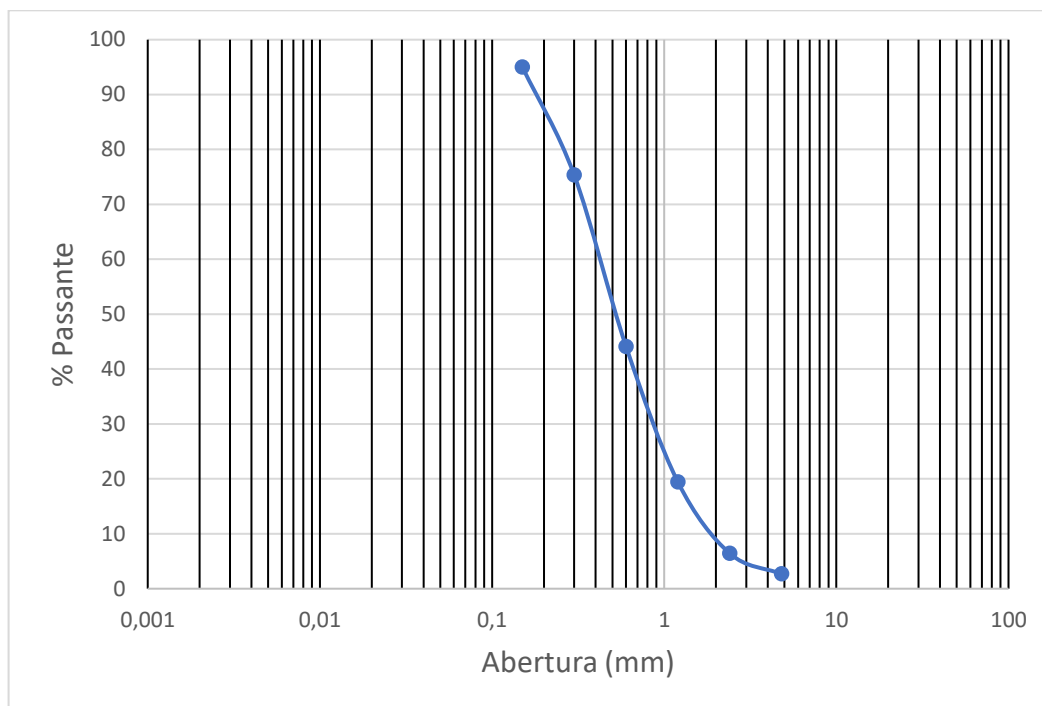
**Tabela 8** – Propriedades granulométricas do agregado miúdo.

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	RETIDO (g)	% RETIDO	% RETIDO ACUMULADA	% PASSANTE
4,8	26,76	2,68	2,68	97,317
2,4	37,51	3,76	6,44	93,557
1,2	129,85	13,02	19,46	80,540
0,6	246,12	24,67	44,13	55,867
0,3	311,34	31,21	75,34	24,655
0,15	196,36	19,68	95,03	4,970
FUNDO	49,58	4,97	100,00	0,000
TOTAL	997,52	100,00	-----	-----
Módulo de Finura (MF):				2,43
Diâmetro Máximo Característico (DMC):				4,8 mm

Fonte: Autor (2021)

De acordo com os intervalos do ensaio de granulometria observa-se que de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) o agregado se encontra sempre na zona ótima, isso é confirmado pelo módulo de finura que é de 2,43, de acordo com a norma essa zona tem intervalo de módulo de finura entre 2,20 e 2,90.



**Gráfico 2 – Curva granulométrica do agregado miúdo.**

Fonte: Autor (2021)

De acordo com Ferrari (2017) a areia com as mesmas características tem massa específica e massa unitária iguais a  $2,63 \text{ g/cm}^3$  e  $1,50 \text{ g/cm}^3$  respectivamente. Valores que foram utilizados para encontrar o traço para o concreto.

#### 4.2 Análise granulométrica do agregado graúdo

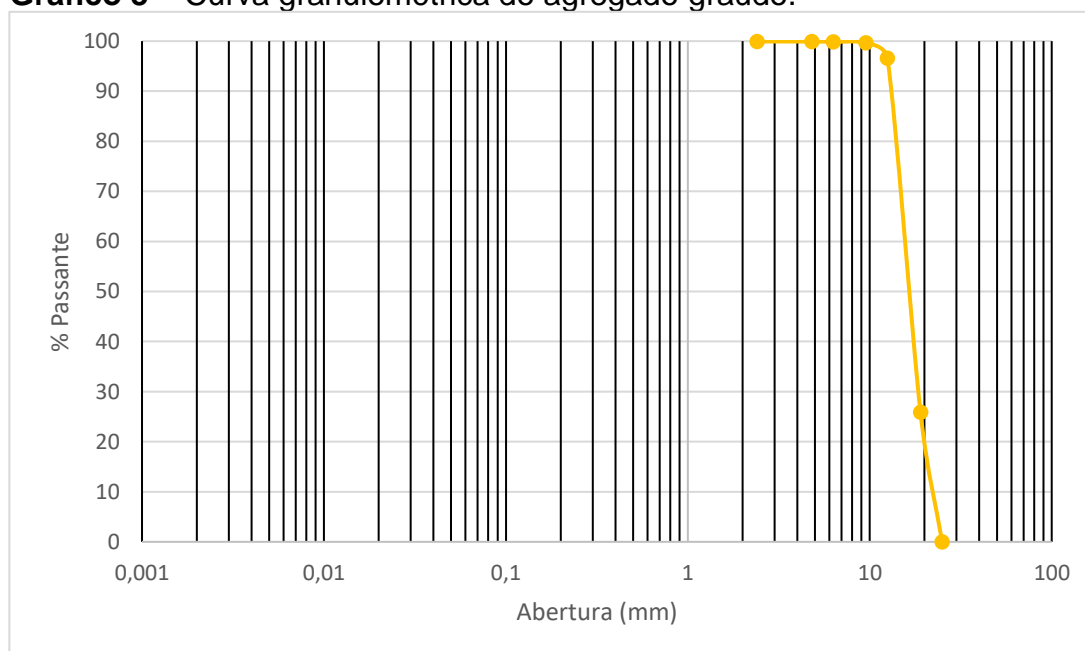
Da mesma forma que o agregado miúdo, o agregado graúdo foi submetido a esse ensaio para verificar sua aceitação na produção de concreto, além da necessidade de saber o  $D_{\text{máx}}$  para obtenção do traço do concreto, que pode ser observado no Tabela 9.

**Tabela 9** – Propriedades granulométricas do agregado graúdo.

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	RETIDO (g)	% RETIDO	% RETIDO ACUMULADA	% PASSANTE
25	0,00	0,00	0,00	100,00
19	1293,25	25,87	25,87	74,13
12,5	3536,11	70,73	96,60	3,35
9,5	152,30	3,05	99,65	0,35
6,3	10,67	0,21	99,86	0,14
4,8	2,24	0,04	99,91	0,09
2,4	1,52	0,03	99,94	0,06
Fundo	3,20	0,06	100,00	0,00
Total	4999,29	100,00	----	4,220
Diâmetro máximo				25 mm

Fonte: Autor (2021)

Na Tabela 9 é possível verificar os resultados para o ensaio granulométrico da brita em estudo e observa-se que a brita está fora da zona de graduação segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009). Porém o material é considerado bem graduado e pode não influenciar muito nos resultados como mostra a curva granulométrica no Gráfico 3.

**Gráfico 3** – Curva granulométrica do agregado graúdo.

Fonte: Autor (2021)

A determinação da massa unitária da brita foi obtida na literatura, a partir de uma brita 1, com diâmetro máximo igual a 25 mm, igual a 1,65 g/cm<sup>3</sup>.

### 4.3 Granulometria do PVC moído

A análise do PVC moído foi feita do mesmo jeito da areia segundo a norma vigente. Os resultados deste ensaio podem ser observados na Tabela 10, tais resultados possibilitaram traçar a curva granulométrica presentes no Gráfico 4.

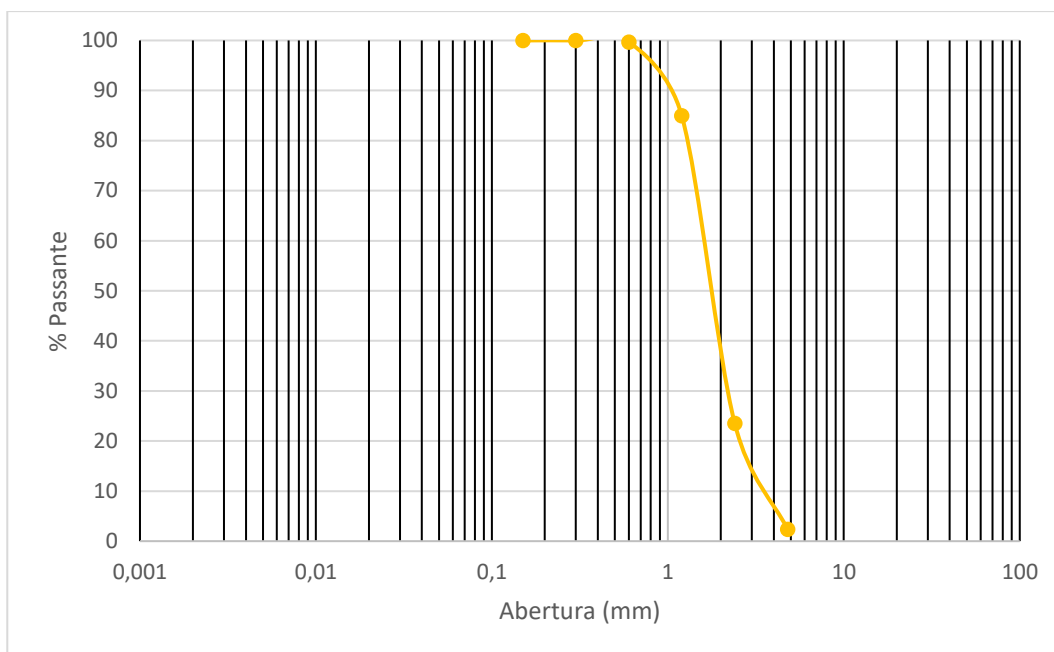
**Tabela 10** – Propriedades granulométricas do PVC.

ABERTURA DA PENEIRA (mm)	RETIDO (g)	% RETIDO	% RETIDO ACUMULADA	% PASSANTE
4,8	23,50	2,35	2,35	97,650
2,4	211,54	21,15	23,50	76,501
1,2	614,72	61,46	84,96	15,041
0,6	147,28	14,73	99,68	0,316
0,3	3,16	0,32	100,00	0,000
0,15	0,00	0,00	100,00	0,000
FUNDO	0,00	0,00	100,00	0,000
TOTAL	1000,20	100,00	-----	-----
Módulo de Finura (MF):				4,105
Diâmetro Máximo Característico (DMC):				4,8 mm

Fonte: Autor (2021)

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009) a granulometria do PVC moído está fora de qualquer zona de utilização do material como agregado miúdo na produção de concreto, embora o módulo de finura se assemelhe ao encontrado por (FERRARI, 2017) de 4,105 e 4,27 respectivamente, mas a norma não descreve intervalos de utilização do agregado miúdo de PVC moído por isso será possível a utilização deste.

Pelo Gráfico 4 observa-se que o agregado substituto tem uma granulometria uniforme, devido ao processo de moagem não variar tanto os tamanhos dos grãos, isso pode deixar vazios no concreto.

**Gráfico 4 – Curva granulométrica do PVC moído.**

Fonte: Autor (2021)

#### 4.4 Granulometria do Polietileno moído

O agregado de substituição foi submetido ao experimento conforme a NBR 248 (ABNT,2003) e seus resultados estão fixados na Tabela 11. A partir desses resultados foi traçada a curva granulométrica.

**Tabela 11 – Propriedades granulométricas do Polietileno.**

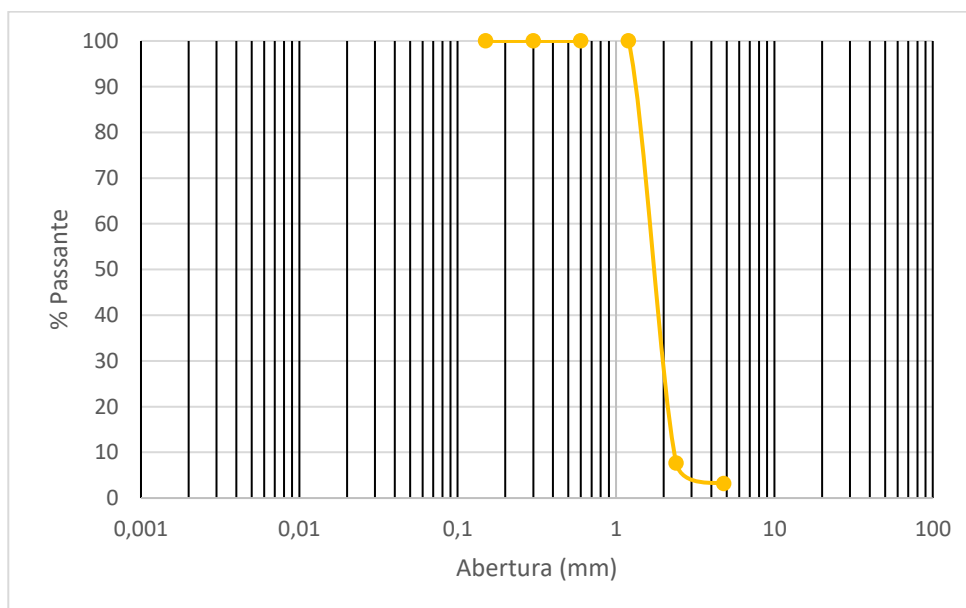
ABERTURA DA PENEIRA (mm)	RETIDO (g)	% RETIDO	% RETIDO ACUMULADA	% PASSANTE
4,8	18,96	3,16	3,16	96,840
2,4	27,03	4,51	7,67	92,335
1,2	554,01	92,34	100,00	0,000
0,6	0,00	0,00	100,00	0,000
0,3	0,00	0,00	100,00	0,000
0,15	0,00	0,00	100,00	0,000
FUNDO	0,00	0,00	100,00	0,000
TOTAL	600,00	100,00	-----	-----
Módulo de Finura (MF):				4,108
Diâmetro Máximo Característico (DMC):				4,8 mm

Fonte: Autor (2021)

Assim como o agregado de PVC é possível observar que o Polietileno está fora da zona de utilização que segundo a norma para agregados miúdos do tipo areia, isso pode ser estimado pela granulometria linear devido o processo de moagem dos fios de polietileno.

O Gráfico 5 mostra a concentração da porcentagem retida em uma única peneira devido a granulometria uniforme.

**Gráfico 5–** Curva granulométrica do Polietileno moído.



Fonte: Autor (2021)

#### 4.5 Definição do traço

A partir do método ABCP pode-se aplicar todos os passos e chegar ao traço de referência e posteriormente os traços de substituição segundo cada teor, todos descrito no Tabela 12.

**Tabela 12 –** Traço para moldagem dos corpos de prova.

Traço	cimento	areia	polímero	brita	a/c
Referência	1	2,07	-	2,72	0,5
10%	1	1,86	0,207	2,72	0,5
20%	1	1,66	0,414	2,72	0,5
30%	1	1,45	0,621	2,72	0,5

Fonte: Autor (2021)

Analisando os dados foram moldados todos os corpos de provas que se submeteram a análises de resistência à compressão.

#### 4.6 Ensaio de abatimento do tronco de cone – *Slump Test*

O ensaio de abatimento do concreto tem a principal função de comparar a consistência e trabalhabilidade do concreto quando submetido a substituição, os dados desse ensaio estão visíveis no Tabela 13.

**Tabela 13 – Abatimento do concreto**

CP	mm
Referência	16
PVC 10%	22
PVC 20%	18
PVC 30%	34
PE 10%	17
PE 20%	55
PE 30%	10

Fonte: Autor (2021)

O concreto não teve um bom comportamento em relação ao abatimento, nos dois casos de substituição de 20% o concreto desmoronou por falta de consistência, o fato de existir muitos grãos bem graduados e muitos espaços vazios dificultam nesse quesito, sendo possível verificar na Figura 9.

**Figura 9 – Ensaio de Abatimento do concreto.**



Fonte: Autor (2021)

Ao encontrar a perda de trabalhabilidade e consistência é necessário refazer o traço em relação ao fator de água e cimento ou adicionar um aditivo plastificante para melhorar essas características, visto que existe uma alteração considerável na forma dos grãos e o peso dos agregados.

#### 4.7 Resistência a compressão

É possível visualizar os 21 resultados na Tabela 14 para as resistências à compressão axial dos corpos de prova após 28 dias de cura.

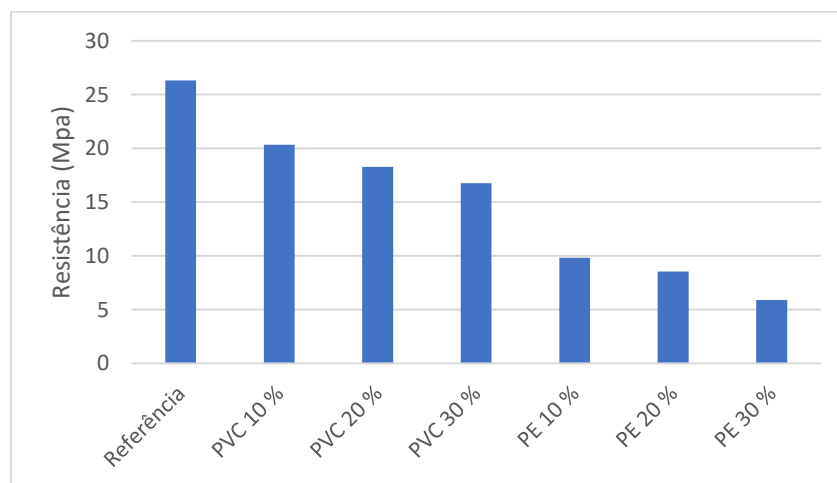
**Tabela 14** – Resultados do ensaio de compressão axial.

CP	I	II	III
Referência	26,31	27,17	25,45
PVC 10%	22,21	18,68	20,13
PVC 20%	17,22	19,02	18,60
PVC 30%	14,31	19,14	16,80
PE 10%	8,91	8,88	11,73
PE 20%	8,20	7,32	10,13
PE 30%	5,44	6,21	6,06

Fonte: Autor (2021)

No Gráfico 6 estão representados todos os resultados de resistência à compressão do concreto após 28 dias de cura.

**Gráfico 6** – Ensaio de resistência à compressão do concreto.



Fonte: Autor (2021)

É de se esperar a diminuição da resistência à compressão dos corpos de prova pela grande presença de vazios no concreto, considerado o principal motivo para queda da resistência à compressão, principalmente para os corpos de prova com substituição parcial do agregado miúdo por polietileno. Na Figura 10 é possível observar bem os espaços vazios presente nos corpos de provas moldados com 30% de substituição parcial do agregado miúdo por polietileno, além disso é notório que eles romperam sempre no mesmo lugar, como se houvesse criado um ponto de fragilidade naquela região.

**Figura 10** – Corpos de provas com substituição parcial do agregado miúdo por polietileno em um teor de 30%.



Fonte: Autor (2021)

Outro ponto que precisa ser observado é o volume adicionado quando se substitui o agregado natural por um agregado de polímero que tem densidade inferior, aumentando a quantidade de materiais. No decorrer dos experimentos percebeu-se que era mais coerente fazer a substituição mediante volume e não massa. Isso poderia auxiliar na diminuição de peso do concreto, que seria assunto para pesquisas futuras.



## 5 CONCLUSÃO

Com as substituições parciais do PVC e do Polietileno o concreto teve sua trabalhabilidade comprometida em ambos os casos, observou-se que à medida que aumentam os teores de substituição, o abatimento do concreto diminui. Porém, para o PVC com 30% aumentou 18 mm e para o Polietileno aumentou 39 mm devido ao desmoronamento do concreto na retirada do cone durante o ensaio de abatimento, isso pode ser caracterizado pelo grande volume de agregado. O PVC teve um abatimento de 22, 18 e 34 mm para as substituições de 10, 20 e 30% respectivamente. Já o Polietileno teve um abatimento de 17, 55 e 10 mm para as substituições de 10,20 e 30% respectivamente. O PVC obteve uma melhor trabalhabilidade devido ao menor volume necessário em suas substituições em comparação ao Polietileno.

Analisando o resultado dos corpos de provas moldados com substituição de PVC obteve-se uma queda na resistência à compressão de 22,69% para a substituição com 10%, de 30,52% para substituição com 20% e de 36,34% para a substituição com 30%. Um fator bem limitante para esses resultados pode ser o modo de moagem, pela análise granulométrica do PVC verifica-se a ausência de material fino para preencher os vazios do concreto, isso aliado a um grande volume de material granular contribuiu para esse resultado final. A ausência de material fino pode ser confirmada pelo intervalo de utilização do agregado miúdo em que o PVC não se enquadrou em nenhuma zona de utilização na produção de concreto.

Os corpos de prova moldados com substituição de Polietileno teve ainda um resultado pior com uma queda na resistência à compressão de 62,59% para a substituição com 10%, de 67,50% para substituição com 20% e de 77,56% para a substituição com 30%, principalmente, pelo grande volume de agregado necessário para substituir a areia em unidade de massa. É possível notar que os corpos de prova apresentam vários espaços de vazios e uma cunha de ruptura, que foi possível observar no momento do rompimento do corpo de prova, evidenciando uma fragilidade no concreto. A moagem do Polietileno também influenciou no resultado, pela ausência de material fino.

Por fim é possível concluir que as substituições feitas nos teores de 10, 20 e 30% de PVC e Polietileno não são viáveis para o objetivo proposto pela pesquisa, porém isso não descarta o uso desse material como agregado de substituição, para isso é necessário o desenvolvimento de mais estudos.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. – ABNT. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. – ABNT. **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. – ABNT. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. – ABNT. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. – ABNT. **NBR NM 248**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT). Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. – ABNT. **NBR NM 67**: Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. – ABNT. **NM-ISO 3310-1**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2010.

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de Construção**. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Guia básico de utilização do cimento portland**. São Paulo. 2002. p. 10-12

Associação Empresarial para Reciclagem- CEMPR. Política Nacional De Resíduos Sólidos. Disponível em: <https://cempre.org.br/artigos-2/>. Acesso em: 10 out. 2021.

BAGGIO A. J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concreto de cimento portland**. 2000. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grando do Sul, Porto Alegre, 2000.

BARBOSA, G. G. **Recursos Naturais Renováveis e Produção de Energia: Revista Política Hoje**. v. 23. n. 1. p. 201. 2014.

CAVALCANTI C. Desenvolvimento e natureza: **Estudos para uma sociedade sustentável**. INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Out 1994. p. 262

COUTINHO, F. M. B.; MELLO I. L.; MARIA L. C. S. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações**. v. 13. n. 1. p. 1-13. 2003.

DA SILVA, E. A.; NETO, J.M.M. Impactos ambientais da produção de garrafas de polietileno numa indústria de Teresina-PI. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Teresina, v. 25, p. 59, 2015.

FERRARI A. K. **Influência do resíduo de PVC moído como substituto parcial do agregado miúdo no concreto dosado para peças de pavimento intertravado**.

2017. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas Joinville, 2017.

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS – FISPQ (NBR 14725), 2019, Matozinhos: POLIMIX, 2015. 1 p. Tema: **PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS - Estado físico: Sólido (na forma de pó fino), Sem Cheiro, Cores: Cinza, Branco, Gelo ou Canela.** Inclui bibliografia. Disponível em: <https://mizu.com.br/wp-content/uploads/2020/12/FISPQ-Cimento-MIZU.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Materiais de Construção Civil: e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 27. p. 905-944.

Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana, 2020, Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana (Selurb), 2020. 39 p. Tema: **Brasil tem alto índice de descarte incorreto de lixo em aterros sanitários. Inclui bibliografia.** Disponível em: <https://selur.org.br/wp-content/uploads/2021/05/ISLU-2020-a.pdf>. Acesso em: 10 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo 2000 Indicadores de desenvolvimento sustentável: disposição de resíduos sólidos urbanos. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC. **Brasil recicla 17,1% de PVC pós-consumo.** 2015. Disponível em: <https://pvc.org.br/imprensa/releases/brasil-recicla-171-de-pvc-pos-consumo-outubro-2015>. Acesso em: 10 out 2021.

KAEFER F. L. **A Evolução do Concreto Armado.** São Paulo, 1998. p. 14.

LAZZAROTTO, Patrícia. **Design de Embalagem: Uma Análise Sobre Embalagem de Shampoos e Condicionadores e Como Elas São Percebidas Pelo Consumidor.** 2016. Monografia (Curso de Design) - Centro Universitário UNIVATES, Centro de Ciências Humanas e Sociais, Lajeado, 2016.

LIMA, C. I.; COUTINHO C. O. D.; AZEVEDO G. G. C.; BARROS T. Y. G.; TAUBER T. C.; LIMA S. F. Concreto e suas inovações. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 1, n. 1, p. 31-40, 2014.

MATTAR, D. C.; VIANA E. **Utilização De Resíduos Poliméricos Da Indústria De Reciclagem De Plástico Em Blocos De Concreto.** Rev. Elet. Em Gestão Educação e Tecnologia Ambiental, São Paulo, v. 8, p. 1723, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.

MUCELIN, C. A.; BELLINI M. **LIXO E IMPACTOS AMBIENTAIS PERCEPTÍVEIS NO ECOSISTEMA URBANO.** Uberlândia, v. 20, p. 14, jun. 2008.

MONTEIRO H. B. S. **Estudo das propriedades mecânicas residuais do concreto de alta resistência submetido a altas temperaturas**. 2017. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

NEGRÃO, C.; CAMARGO, E. P. **Design de Embalagem: do marketing à produção**; São Paulo; Novatec, 2008.

NUNES L T. **Tecnologia do PCV**. São Paulo; Brasken, 2002.

OLIVEIRA, Nelson, 07., 2021; Agência Senado. Tema: **Aumento da produção de lixo no Brasil requer ação coordenada entre governos e cooperativas de catadores**. Inclui bibliografia. Disponível em: . Acesso em: 10 de out. de 2021.

PEDROSA F. L. Concreto: **Material Construtivo mais consumido do mundo**. São Paulo: IBRACON, 2009. p. 14.

PERRIN M. W., **The Story of Polyethylene**, v. 6, p. 111-118. 1953.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F.. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. Maceió; EdUFAL, 2005. p. 34

RODRIGUES, P. P. Fi. **Parâmetros de Dosagem do Concreto. ET – 67**. São Paulo: ABCP, 1998.

SANTOS H. M. A M. M. **Reciclagem química do PVC: aplicação do PVC parcialmente desidrocloreto para a produção de um trocador iônico**. 209. Dissertação (Mestre em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Química, Uberlândia, 2009.p. 3.

SILVA, C. O.; SANTOS G. M.; SILVA L. N. **A Degradação ambiental causada pelo descarte inadequado das embalagens plásticas: estudo de caso**. São Luís do Quitunde, v. 13 n. p. 2684. ago 2013.

SOUZA, L. M.; ASSIS, C. D. **Adição de Fibras de Lata de Alumínio e Aço Em Concreto**. v.18, n. 2, p.6, 2014.

SOUZA, Líria Alves, 28., 2015; Brasil Escola. Tema: **Polímeros e Poluição**. Inclui bibliografia. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/polimeros-poluicao.htm>. Acesso em: 10 de out de 2021.

WELZBACHER. G. **Estudo da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de PVC (policloreto de vinila) em concretos convencionais**, 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari, UNIVATES, Lajeado, 2019.