

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

“Júlio de Mesquita Filho”

Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais – POSMAT

João Carlos dos Santos Canhada

**“PRODUÇÃO DE CONCRETO COM RESÍDUOS SÓLIDOS DE CURTUMES
TIPO “WET BLUE” A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE
AGREGADO MIÚDO”**



PRESIDENTE PRUDENTE
2021

João Carlos dos Santos Canhada

**“PRODUÇÃO DE CONCRETO COM RESÍDUOS SÓLIDOS DE CURTUMES
TIPO “WET BLUE” A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE
AGREGADO MIÚDO”**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, área de concentração CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS, sob a orientação do Prof. Dr. RENIVALDO JOSÉ DOS SANTOS e coorientação do Prof. Dr. FERNANDO SÉRGIO OKIMOTO.

PRESIDENTE PRUDENTE
2021

C222p

Canhada, João Carlos dos Santos

Produção de concreto com resíduos sólidos de curtumes tipo “wet blue” a partir da substituição parcial de agregado miúdo / João Carlos dos Santos Canhada. -- Presidente Prudente, 2021 81 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: Renivaldo José dos Santos

Coorientador: Fernando Sérgio Okimoto

1. Raspa de couro. 2. Concreto. 3. Cromo. 4. Agregado natural. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de JOÃO CARLOS DOS SANTOS CANHADA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 05 dias do mês de fevereiro do ano de 2021, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE Mestrado de JOÃO CARLOS DOS SANTOS CANHADA, intitulada **PRODUÇÃO DE CONCRETO COM RESÍDUOS SÓLIDOS DE CURTUMES TIPO "WET BLUE" A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADO MIÚDO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. RENIVALDO JOSE DOS SANTOS (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Curso de Engenharia de Energia / Campus Experimental de Rosana, Prof. Dr. ELTON APARECIDO PRADO DOS REIS (Participação Virtual) do(a) Toledo / Toledo Centro Universitário, Profa. Dra. ANA MARIA PIRES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Química e Bioquímica / UNESP/Câmpus de Presidente Prudente. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. RENIVALDO JOSE DOS SANTOS

*Dedico este trabalho a toda minha família,
especialmente aos meus pais, por serem o alicerce
de todas as minhas conquistas.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por tornar possível a realização de mais um sonho, a obtenção do Título de Mestre.

A minha família sem a qual jamais conseguiria estar aqui hoje. Especialmente minha mãe e meu pai, Rosimeire e João Canhada, por não medirem esforços para estarem sempre ao meu lado. Aos meus irmãos, Juliana, Fernando e André Canhada que sempre me deram o suporte necessário para seguir nos momentos mais difíceis. Aos meus Tios(as), pelo carinho e por me ajudarem a tornar mais amenos alguns momentos.

Ao meu grande Orientador e Amigo, Prof Dr Renivaldo José dos Santos, pela confiança dada a mim, acreditando no meu potencial durante esse período e ao meu Co-orientador, Prof. Dr. Fernando Sérgio Okimoto, por todo auxílio prestado.

As minhas amigas Luana Passianoto e Gabriela Tolosa, pela amizade construída e todos os momentos que compartilhamos juntos.

Aos Técnicos do Departamento de Química da FCT/UNESP – Presidente Prudente-SP, Sidney e Dr. Gabriel Shinohara, pela paciência, responsabilidade e prontidão durante a realização do ensaio de lixiviação.

Ao Eng. Ederson Del Castilho, por toda orientação e acompanhamento durante os cálculos e execuções dos traços de concreto.

Aos meus dois grandes amigos, Eng. Marco Antonio Perez e Marco Antônio Pedroso, pelo auxílio logístico da coleta do resíduo utilizado.

À Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), e aos técnicos do Laboratório de Construção Civil, por cederem seu espaço para confecção dos traços de concreto.

Às empresas Jomane e SETEC, da cidade de Presidente Prudente-SP, por cederem seus equipamentos de análise.

Ao Curtume Touro LTDA, de Presidente Prudente-SP, por fornecer o resíduo utilizado e se disponibilizar a patrocinar as calçadas do novo Laboratório de Resíduos da FCT-UNESP, com o concreto desenvolvido.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

CANAHDA, J. C. S. **Produção de concreto com resíduos sólidos de curtumes tipo “wet blue” a partir da substituição parcial de agregado miúdo.** 2021. 81f. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Unesp, Faculdade de Ciência e Tecnologia de Presidente Prudente, 2021.

RESUMO

A produção de couro é uma tecnologia que impulsiona a economia devido à sua versatilidade e durabilidade. No entanto, os resíduos gerados ao longo do processo podem se tornar classificados como tóxicos devido à elevada concentração de cromo, derivado do processo de curtimento, em que o agente curtente mais empregado no mercado é o cromo (Cr(III)). Neste trabalho, foram avaliados o efeito da incorporação das raspas de couro micronizada nas propriedades mecânicas e físicas do concreto, bem como a possibilidade de neutralização da toxicidade do cromo existente nesse resíduo. O agregado natural (areia) foi parcialmente substituído pela rassa de couro, na ordem de 5% e 10%. Para caracterizar as propriedades mecânicas (resistência à compressão, tração por compressão diametral), físicas (massa específica, índice de vazios e absorção de água) e morfológicas dos concretos, foram avaliadas amostras de 7, 14 e 28 dias. A lixiviação foi realizada para determinar quanto de cromo é liberado pelo compósito. Observou-se que a trabalhabilidade do concreto reduziu drasticamente à medida que a quantidade de resíduo era inserida, sendo assim, fez-se necessário a adição de um aditivo superplastificante para torná-lo trabalhável e viável. Para as propriedades físicas, o índice de vazios e absorção de água, ambos foram melhorados ao se adicionar o aditivo superplastificante. Os resultados da microscopia eletrônica de varredura indicaram a dispersão das fibras de couro na matriz de cimento. O ensaio de lixiviação demonstrou que a liberação de cromo é menor que 5µg/mL, valor estabelecido pela norma ABNT NBR 10.004/2004. Os resultados experimentais destacam a capacidade e potencialidade de utilização do concreto com raspas de couro, tanto como concreto estrutural ou não estrutural dentro da construção civil. Sendo assim, confeccionou-se as calçadas do novo laboratório de resíduos da FCT/UNESP – Presidente Prudente com 3 m³ do C10A traço 2.

Palavras-Chave: Rassa de couro, Concreto, Cromo, Agregado Natural.

CANAHD, J. C. S. **Production of concrete with solid tannery type "wet blue" residues using partial replacement of fine aggregate.** 2021. 81f. Dissertation (Master in Materials Science and Technology) – Unesp, University of Science and Technology of Presidente Prudente, 2021.

ABSTRACT

Leather production is a technology that propels the economy due to its versatility and durability. However, the waste generated during the process might be classified as toxic due to the high concentration of chromium derived from the tanning process where the tanning agent most used in the market is the chromium (Cr+3). Hence, in this project, the effects on the mechanical and physical properties of the concrete composite with leather shavings incorporated in it were evaluated, as well as the possibility of neutralizing the toxicity of the chromium in this residue. The natural aggregate was partially replaced by leather scraps, in the order of 5% and 10%. To characterize the mechanical, physical and morphological properties of the concrete, samples of 7, 14 and 28 days were analyzed. Leaching test was performed to determine the efficiency of chromium encapsulation in the cement matrix. It was noted that the workability of the concrete reduced significantly as the dosage rate of the leather shavings increased, therefore, it was necessary to add the superplasticizer additive to make it workable and viable. It was observed a decrease in the mechanical properties of the samples with and without additives. For the physical properties, both the void ratio and water absorption were improved by adding the superplasticizer additive. The results of the scanning electron microscopy indicated a satisfactory interaction between the leather fibers and the cement matrix. The leaching test demonstrated that the release of chromium is lower than 5µg/mL, value established by the standard ABNT NBR 10.004/2004. The experimental results highlight the capacity and potential of using concrete with leather scraps, both as structural or non-structural concrete within civil construction. Thus, 3 m³ of the new composite were used in the sidewalk of the Laboratory of Residues of FCT -UNESP – Presidente Prudente.

Keywords: leather waste, concrete, chromium, natural aggregate

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
a/c	Fator Água/Cimento
Art.	Artigo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
NBR	Norma Técnica
C5	Concreto com Adição de 5% de Raspa de Couro
C10	Concreto com Adição de 10% de raspa de Couro
C5A	Concreto com Adição de 5% de Raspa de Couro e Aditivo Superplastificante
C10A	Concreto com Adição de 10% de Raspa de Couro e Aditivo Superplastificante
CE	Comitês de Estudos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
cm ³	Centímetros Cúbicos
CP II Z 32	Cimento Portland Composto com Pozolana, e Resistência de 32
CP II F 40	Cimento Portland Composto por Fíler, e Resistência de 40 megapascal
CP	Corpo de Prova
C _{s/c}	Concreto sem couro
Cr(III)	Cromo trivalente
Cr(VI)	Cromo hexavalente

DNER-ME	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
F_{ck}	Resistência à Compressão Axial Simples
g	Gramas
h	Horas
ISO	Organização Internacional para Padronização
Kg	Quilograma
LTDA	Limitada
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
mm	Milímetros
m^3	Metros Cúbicos
MF	Módulo de Finura
MPa	Mega pascal
mL	Mililitro
nm	Nanômetro
n°	Número
pH	Potencial Hidrogeniônico
SP	São Paulo
t	Toneladas
μm	Micrômetro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de geração de resíduos	9
Figura 2 – Etapas do processo de curtimento	16
Figura 3 – Micronizador e resíduo de couro em fibras e micronizado.....	25
Figura 4 – Procedimento de execução do ensaio abatimento do tronco.....	32
Figura 5 - Execução do ensaio de resistência à compressão	33
Figura 6 – Execução do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.	35
Figura 7 – Balões volumétricos com as amostras prontas para leitura	38
Figura 8 – Curva de calibração.....	39
Figura 9 – Execução do ensaio lixiviação, CP inteiro.....	40
Figura 10 – Execução do ensaio lixiviação, CP rompido.....	41
Figura 11 – Processo de oxidação para Cr(IV) das amostras	42
Figura 12 - Leitura das amostras obtidas.....	42
Figura 13 – Granulometria da areia.....	44
Figura 14 – Granulometria da brita	46
Figura 15 – Ação do aditivo superplastificante na trabalhabilidade do concreto.....	49
Figura 16 - Resistência à compressão do traço 1 (a/c 0,5)	50
Figura 17 – Resistência à compressão do traço 2 (a/c 0,6)	52
Figura 18 - Resistência à tração por compressão diametral dos CPs do traço 1 a/c 0,5	54
Figura 19 - Resistência à tração por compressão diametral dos CPs do traço 2 a/c 0,6	54
Figura 20 - Absorção de água das amostras	55
Figura 21 - Índice de vazios das amostras.....	55
Figura 22 – MEV das amostras confeccionadas com couro.....	58
Figura 23 - Calçadas confeccionadas com C10A.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais resíduos sólidos gerados em cada etapa do processo (Kg materiais / t pele salgada).....	18
Tabela 2 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa).....	21
Tabela 3 - Propriedades físicas dos agregados, miúdo e graúdo	43
Tabela 4 -Ensaio de granulometria da brita 1	44
Tabela 5 - Ensaio de granulometria da brita 1	45
Tabela 6 - Composição (kg/m ³) do Traço 1.....	47
Tabela 7 - Composição (kg/m ³) do Traço 2.....	47
Tabela 8 - Abatimento do tronco (slump test).....	48
Tabela 9 - Classes de consistência do concreto	49
Tabela 12 - Elevação em porcentagem da absorção de água e índice de vazios.....	56
Tabela 13 – Classificação da durabilidade do concreto	56
Tabela 14 – Massas específicas (g/cm ³)	57
Tabela 15 - Concentração de cromo nas amostras de couro.....	59
Tabela 16 - Liberação de cromo total, ensaio proposto 1.....	61
Tabela 17 - Liberação de cromo total, ensaio proposto 2.....	61
Tabela 18 - Composição de 3 m ³ de C10A.....	64
Tabela 19 - Propriedades do concreto C10A usinado	65
Tabela 20 - Liberação de cromo total do concreto C10A usinado	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Justificativa	11
1.2 Estrutura do Trabalho	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 Resíduo	13
3.2 Fabricação do couro	15
3.2.1 Ribeira	15
3.2.2 Curtimento.....	16
3.2.3 Acabamento.....	16
3.3 Serragem de couro	17
3.3.1 Reutilização.....	18
3.4 Concreto.....	20
3.4.1 Cimento	20
3.4.2 Agregados.....	21
3.4.3 Aditivo.....	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1 Resíduo de couro	24
4.2 Caracterização dos agregados	25
4.2.1 Granulometria e módulo de finura	25
4.2.2 Massa específica dos agregados	26
4.3 Estudo da dosagem do concreto.....	29
4.3.1 Traço 1.....	29
4.3.2 Traço 2.....	30
4.3.3 Moldagem dos corpos de prova (CP).....	30
4.3.4 Aditivo superplastificante	31
4.4 Estudo do concreto no estado fresco (abatimento do tronco).....	31
4.5 Estudo do concreto no estado endurecido.....	32
4.5.1 Resistência à compressão	32
4.5.2 Resistência à tração por compressão diametral	34
4.5.3 Índices físicos	35

4.5.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	36
4.5.5 Digestão da amostra de couro	36
4.5.6 Ensaio de lixiviação	39
4.5.6.1 Proposta 1	40
4.5.6.2 Proposta 2	41
4.5.6.3 Preparação para análise de cromo total	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Agregados	43
5.2 Dosagem	46
5.3 Estudo do comportamento do fresco.....	48
5.4 Estudo do comportamento do concreto endurecido.....	50
5.4.1 Resistência à compressão axial.....	50
5.4.2 Resistência à tração por compressão diametral.....	54
5.4.3 Índices físicos – índice de vazios, absorção de água e massas específicas....	55
5.4.4 Estudo morfológico	58
5.4.5 Digestão do Couro	59
5.4.6 Lixiviação dos CPs	61
7. APLICAÇÃO	64
6. CONCLUSÃO.....	66
7. PERSPECTIVAS	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

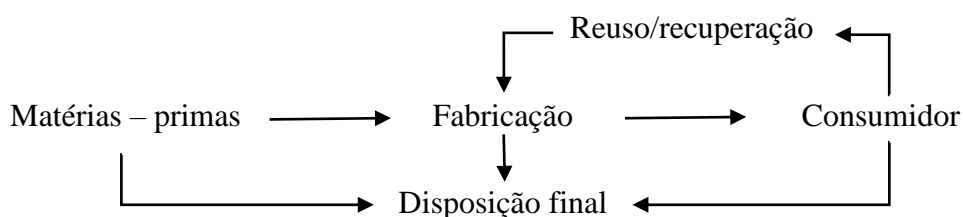
1. INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial da população em paralelo com o desenvolvimento econômico, proporcionou a instabilidade ambiental devido à falta de planejamento para se lidar com os resíduos gerados durante os processos industriais.

De acordo com CONAMA, Resolução nº 313/2002, Art. 1º [1], considera-se resíduo sólido industrial:

Todo resíduo de atividades industriais e que se encontre nos estados sólidos, semi-sólido, gasoso – quando contido, e líquido – cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

O Figura 1, simplifica as etapas de geração de resíduos sólidos [2].



Fonte: Pinto (2005)

Figura 1 – Processo de geração de resíduos

Analisando a Figura 1, pode-se subdividir os resíduos sólidos em duas categorias, os gerados no processo produtivo e aqueles pós-consumo. Dentro deste contexto a indústria de couro que utiliza cromo como agente curtente, é responsável pela produção de resíduos sólidos em larga escala, sendo estes classificados como perigosos (classe I), segundo ABNT NBR 10.004/2004 [3]. Em específico, é gerada a serragem ou raspa de couro oriunda da uniformização da espessura da manta de couro, resíduo que representa um problema ambiental devido à presença de sais de cromo trivalente (Cr(III)) e dificuldade de usar métodos adequados de descarte ou reciclagem, pois ocupa um volume significativo em aterros sanitários [4, 5, 6]. Caso haja o descarte de maneira inadequada, o ambiente que este se encontra pode favorecer sua oxidação de Cr(III), material considerado estável, para Cr(VI), altamente móvel, tóxico e nocivo à saúde [7].

Atualmente há vários trabalhos que adicionam resíduos provenientes das indústrias no concreto, que é o material mais utilizado na construção civil, visando a

redução do impacto ambiental, tanto no descarte final desses resíduos quanto na redução de recursos não renováveis (agregados e cimento) [8,9,10].

Santos *et al.* [11] demonstraram a eficiência da utilização de resíduos gerados por diversos setores da indústria para fabricação de novos compósitos. Os autores elaboraram um compósito feito a partir da serragem de couro e borracha natural. Esse compósito se mostrou eficiente no encapsulamento do cromo e para confecção de bolsas e sapatos. Aguiar *et al.* [12], adicionaram resíduos de couro em blocos cerâmicos e constataram que o encapsulamento do cromo gera um decréscimo das propriedades mecânicas, porém mesmo com a perda de resistência provou-se a viabilidade da substituição de até 1% de argila pelo couro.

Zaetang *et al.* [13], reaproveitaram resíduos de demolição provenientes da construção civil para substituir agregados naturais. Observaram ganho de resistência mecânica e de abrasão da superfície, pois a rugosidade destes propiciaram melhor aderência com a pasta de cimento. Lu *et al.* [14], utilizaram dois tipos de resíduos como agregado reciclado, de vidro e de construção na matriz cimentícia. Os resultados mostraram uma queda na resistência mecânica, devido a superfície lisa do vidro, já o concreto produzido com agregado de concreto reciclado teve uma queda na condutividade térmica, oferecendo uma opção alternativa para divisórias ou blocos de isolamento térmico.

Segundo Cunha Junior [15], o setor da construção civil é responsável pela maior parte do consumo de recursos naturais no âmbito mundial, o que ressalta a importância de pesquisas realizadas no meio acadêmico com fomento de órgãos públicos ou em parcerias com empresas privadas. Esses trabalhos visam a diminuição do uso de tais recursos finitos e a reutilização de materiais que são considerados sem mais utilização para o fim dos quais foram projetados, gerando novos compósitos e enobrecendo a sustentabilidade dentro da construção civil.

A sustentabilidade no setor construtivo pode ser definida como a utilização cautelosa de recursos naturais, suprimindo a necessidade da população atual, respeitando as necessidades de uso e de consumo da geração futura, ou seja, é uma maneira inteligente de produzir sem provocar a escassez dos recursos naturais [16]. O processo de reutilização consiste na recuperação de dejetos, introduzindo-os em novos ciclos produtivos. Tal alternativa torna-se viável quando se evidencia a necessidade de redução de consumo de recursos naturais não renováveis. A aceitação desses compósitos é favorável, sempre que,

a adição desses resíduos não prejudique o comportamento do concreto, mas preserve sua qualidade técnica para comercialização.

1.1 Justificativa

Justifica-se esse trabalho por meio de dois fatores, primeiro, a possibilidade imobilizar Cr(III) presente na raspa de couro e evitar que este oxide para Cr(VI), e segundo, a redução da utilização de recursos não renováveis, como a areia.

Analisando o volume de concreto destinado para confecção de calçadas, mobiliários urbanos, guias e sarjeta, nota-se a importância de se economizar materiais finitos (agregados), substituindo-os por novos resíduos (industriais e urbanos) que se adequem à matriz cimentícia.

Neste trabalho, substituiu-se a areia pela serragem de couro sem nenhum tratamento prévio na matriz cimentícia, visando o barateamento na reutilização do resíduo e o aprisionamento do cromo no concreto, sem que este sofra perdas significativas em suas propriedades mecânicas e físicas.

1.2 Estrutura do Trabalho

Para melhor concepção, tem-se da forma resumida a estrutura do trabalho, composta por:

- Revisão Literária, que aborda os conceitos dos materiais e das propriedades do compósito, legislação e gestão do resíduo industrial utilizado.
- Materiais e Métodos, tópico que informa de onde vieram os materiais empregados na pesquisa, além dos métodos, permitindo a reprodução por outros autores;
- Resultados e Discussões, onde são apresentados os dados obtidos para cada análise realizada, a discussão e a comparação com os dados da literatura;
- Conclusão, neste último capítulo são apresentadas as conclusões sobre cada ensaio e o direcionamento de aplicação do compósito elaborado.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Viabilizar a utilização do resíduo sólido (raspa de couro) contendo Cr(III) in natura, para substituir parcialmente a areia natural do concreto, desenvolvendo um novo compósito.

2.2 Objetivos específicos

- Reciclar o resíduo de curtume que é um material considerado perigoso à sociedade, devido à alta concentração de cromo (raspa de couro);
- Reduzir o consumo de recursos finitos (areia);
- Determinar a porcentagem de cromo na amostra de couro;
- Realizar combinações de raspa de couro e agregado miúdo dentro de um mesmo traço de concreto;
- Estudar as possíveis alterações do concreto em relação ao seu estado fresco;
- Avaliar a exequibilidade do compósito na fase endurecida através das propriedades físicas (índice de vazios e absorção de água), mecânicas (compressão axial e tração por compressão diametral), morfológicas e imobilização do cromo (lixiviação).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduo

Segundo a Lei 12.305/2010, Art. 3º, inciso XVI [17], resíduo sólidos pode ser definido, como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Segundo ABRELPE [18], o Brasil produziu cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no ano de 2018, um aumento de 1% em relação ao ano anterior (2017) e chegou a produção de 216.629 toneladas diárias. Desse total 59,5% ou seja, 43,3 milhões de toneladas foram destinados corretamente à aterros sanitários. O restante (40,5%), um total de 29,5 milhões de toneladas foram despejados/direcionados inadequadamente por 3.001 municípios.

Como dito acima, o atual problema derivado da crescente quantidade de geração de resíduos sólidos, popularmente ditos como “lixos”, que são materiais sem utilidade, perigosos ou não, provenientes de toda atividade humana, crescem de maneira alarmante, assim a criação e cumprimento de leis para gerenciar esses materiais se tornou mais que necessária visando a redução da poluição ambiental [19, 20].

Comitês de estudos (CE) vinculados a ABNT, formados por representantes dos setores, tais como: produtores, consumidores e neutros (universidades e laboratório), foram desenvolvidos com a finalidade de revisar e aperfeiçoar as normas vigente.

No que se refere à amostragem, classificação, estudo dos extratos lixiviados ou solubilizados, tem-se:

ABNT NBR 10.004/2004 [3] – Resíduos sólidos – Classificação. Determina o grau de periculosidade de cada material, para que estes possam ser gerenciados da maneira mais adequada.

ABNT NBR 10.005/2004 [21] – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Prescreve o procedimento adequado para se obter o extrato

lixiviado (os elementos que são liberados pelo material/compósito/produto), com finalidade de classifica-los pela ABNT NBR 10.004/2004 [3], como:

Classe I – perigosos: quando o resíduo apresenta risco à saúde pública (ocasionando mortes e/ou agravando a incidência de doenças) e/ou ao meio ambiente, que possua certo grau de toxicidade, que seja mutagênico, inflamável, patogênico, reativo e patogênico.

Classe II – não perigosos: Os que não são classificados como classe I, não apresentando risco elevado de periculosidade a sociedade e natureza.

ABNT NBR 10.006/2004 [22] – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Prescreve o procedimento adequado para se obter o extrato solubilizado de resíduos sólidos, com finalidade de classifica-los pela ABNT NBR 10.004/2004 [3], como:

Classe II A não inertes: Resíduos que não são classificados como classe I ou classe II B e podem apresentar propriedades, como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Classe II B – inertes: Resíduos que quando ensaiados segundo a ABNT NBR 10.006/2004 [22], não possuem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

ABNT NBR 10.007/2004 [23] – Amostragem de resíduos sólidos. Determina os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos.

De acordo com o CONAMA, Resolução nº 358/2005, Art. 21[24], os resíduos que se enquadram no Grupo B (anexo I desta Resolução), com características danosas, caso não forem submetidos a nenhum processo de reutilização ou reciclagem, devem ser tratados e dispostos de maneira específica.

A Lei 12.305/2010, no Art. 9º [25], no que se refere a gestão de resíduos sólidos, prescreve a seguinte ordem de preeminência: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Nesse âmbito, surge o gerenciamento dos resíduos que de acordo com o CONAMA nº 448/2012, Art. 2º, inciso XI [26], tem como objetivo diminuir os danos causados a sociedade/meio ambiente, reutilizando ou reciclando esses resíduos, incluindo

uma série de logística como: planejamento, práticas, procedimentos e recursos para reutilização, reciclagem ou deposição ambientalmente correta. Ainda segundo o CONAMA nº /2002, Art. 2º [27], temos a definição de reutilização e reciclagem, nos incisos VI e VII, respectivamente:

- Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;
- Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação;

3.2 Fabricação do couro

De maneira geral, o couro é o produto do tratamento da pele animal, que são divididos em três etapas: ribeira, curtimento e acabamento e serve como matéria prima para setor calçadista, mobiliário, vestuário, dentro outros artefatos.

3.2.1 Ribeira

O processo de Ribeira tem como objeto limpar e eliminar as substâncias que não contribuirão para o produto final, além de preparar a matriz de fibras colagênicas, para reagir devidamente com os produtos químicos das próximas etapas. Dentro desse processo, há o pré-remolho, remolho, depilação, descarne, divisão, descalcinação e píquel.

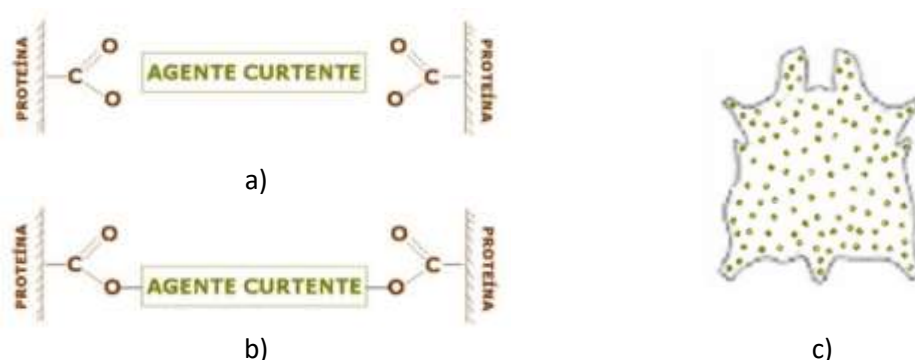
- Pré-remolho: Nesta etapa, as peles são separadas por peso, pequenos (abaixo de 25 Kg), médios (25-35 Kg) e grandes (acima de 35 Kg) [28].
- Remolho: Este processo consiste na hidratação da pele, pois devido a conservação com sal, esta chega no curtume desidratada;
- Depilação: Basicamente a retira dos pelos e do sistema epidérmico, pela ação de agentes químicos (cal e sulfeto de sódio);
- Descarne: Uma etapa mecânica, cuja finalidade é remover os materiais aderidos à pele;
- Divisão: Aqui a pele é separada em duas camadas: a parte superior, mais nobre, chamada de flor e a inferior, lado interno, chamado de raspa [29];
- Desencalagem: Ou descalcinação, que remove a cal e outros produtos químicos alcalinas, provenientes das etapas anteriores;

- Píquel: Corrige falhas das etapas anteriores e tem como finalidade a preparação das fibras para facilitar a ação dos agentes curtentes, promovendo maior eficiência nas ligações químicas [30].

3.2.2 Curtimento

O curtimento é um processo posterior à ribeira, onde confere propriedade de imputrescibilidade à pele, ou seja, convertendo-a em um material mais resistente às bactérias e ao calor, através dos agentes curtentes, que podem ser de origem mineral, vegetal e sintético.

A operação de curtimento pode ser separada em três etapas (Figura 2): a) introdução do agente curtente dentro da pele, b) ligações das estruturas formando *cross-links* e c) espalhamento homogêneo do agente curtente, resultado dos dois processos [19].



Fonte: Silva (2019)

Figura 2 – Etapas do processo de curtimento

O agente curtente mais utilizado globalmente tem sido o cromo, devido seu baixo custo, menor tempo de processamento em relação aos outros agentes e ótimas propriedades que atribui ao couro. Em geral cerca 2 a 3% de cromo trivalente são incorporados na pele durante todo o processo de fabricação [29, 30, 31].

3.2.3 Acabamento

O acabamento final tem como objetivo manter ou melhorar alguns aspectos do couro, devido às exigências do produto final como, resistência físico-mecânica, físico-química e microbiológica, maciez, cor dentre outras [19].

Esta etapa é dividida em três processos, o acabamento molhado, pré-acabamento e acabamento final.

Acabamento molhado: Conhecido como recurtimento, onde o couro é submetido a uma operação mecânica de uniformização de sua espessura ou conhecido popularmente como rebaixamento da manta.

Pré-acabamento: A peça é destinada a operações mecanizadas, sendo submetida ao estiramento, que visa eliminar o excesso de água do couro, logo após a secagem e amaciamento. Adiante segue a impregnação e aplicação do stucco, que são basicamente a aplicação produtos químicos com finalidade de corrigir possíveis defeitos como cavidades ou cicatrizes do animal. Por fim o lixamento/desempear e impregnação, onde se finaliza a parte de uniformização da pele e limpeza do pó presente na pele para aplicação do acabamento final.

Acabamento final: Reta final da produção do couro, onde serão definidas características como, cor, brilho entre outras, contudo suas propriedades químicas não serão mais alteradas, assim o produto final estará pronto para expedição [19].

3.3 Serragem de couro

É um material derivado da uniformização da manta de couro, esse processo é realizado por um equipamento conhecido como rebaixadeira, sua finalidade é dar espessura adequada à pele segundo sua finalidade de uso (calçados, bolsas, roupas, entre outros). Este material é um dos principais resíduos sólidos gerados durante o processo de fabricação do couro e possui peso específico muito baixo, cerca de $0,25 \text{ g/cm}^3$, assim ocupando volumes consideráveis e por não ter aplicação ou interesse econômico, a melhor destinação fica condicionada à aterros sanitários [30, 32].

Devido a quantidade de cromo existente nesse resíduo (conforme item 3.2.2), a ANBT NBR 10.004/2004 [3] o classifica como material classe I – perigoso, desta maneira foi proibido sua estocagem a céu aberto, pois devido a exposição ao meio ambiente, este material pode liberar Cr(III) contaminando o solo e lençóis freáticos ou sofrer oxidação do Cr(III) para Cr(VI), o tornando ainda mais nocivo a sociedade.

A Tabela 1, representa o quantitativo dos principais resíduos gerados em cada etapa da produção do couro.

Tabela 1 – Principais resíduos sólidos gerados em cada etapa do processo (Kg materiais / t pele salgada)

Macro etapa do Processo	Etapa do Processo	Resíduos Gerados	
		Resíduo	Kg / t
Ribeira	Pré-descarne e/ou Descarne	Carnaça	150 – 250
	Recortes e Divisão	Aparas não caleadas e caleadas	120 - 150
Acabamento	Rebaixamento e recortes c/50% de umidade	Serragem de rebaixadeira e aparas curtidas	80 - 150
ETE (1)	Decantação primária e secundária	Lodos primário e secundário c/20% de matéria seca	650

Fonte: Adaptado CETESB, 2015.

Nota (1) estação de tratamento de efluentes – pontos de geração de materiais sólidos e/ou lodos: filtragem dos pelos dos banhos de depilação/caleiro; limpeza do taque de equalização e outros; decantação primária e secundária.

A utilização de 1.000 kg de peles salgadas gera entorno 150 a 350 kg de couros acabados, promovendo um rendimento médio do processo de 25%. Assim, nota-se a quantidade expressiva de material “perdido”, que não é produto. Considerando que o Brasil possui o maior rebanho comercial bovino do mundo, se enquadrando entre os maiores produtores de couro a nível global, a quantidade de resíduo gerado em seu processamento é alarmante e caso não for adequadamente gerenciada, pode apresentar impacto ambiental significativo [29, 33].

3.3.1 Reutilização

A pesquisadora Iraídes Maria do Prado Dias Baffa [34] patenteou o Concreto Pré-Fabricado com Adições de Resíduo de Couro, um método que incorpora os resíduos de couro provenientes da indústria do calçado de Franca/SP em elementos pré-moldados em concreto de cimento Portland, para uso na construção civil.

Aguiar et al. [12] estudaram a possibilidade da fabricação de tijolos com adição de raspa de couro, visando o imobilizar o cromo dentro da matriz argilosa. Analisando os resultados, pode-se concluir que a incorporação de 1% do resíduo em relação à massa da argila foi satisfatória, pois conferiu resistência e se mostrou eficiente na imobilização do cromo.

Tachard, Ribeiro e Morelli [35] propuseram o tratamento da raspa de couro em ácido fosfórico aquecido e posteriormente a adição desse material à argamassa de cimento Portland. Objetivando a estabilização do Cr(III) na matriz cimentícia para evitar a decomposição da raspa do couro e conseqüentemente o aumento dos vazios dentro da matriz cimentícia. A utilização do ácido fosfórico promoveu um retardo no tempo de pega da pasta culminando na queda da resistência. Através do MEV pode-se notar a presença de longas fibras, característica do resíduo de couro e pelo ensaio de lixiviação e solubilização comprovou-se a ideia de que a matriz cimentícia não iria liberar quantidade de Cr acima do permitido por norma.

Ribeiro, Yuan, Morelli, [31] conduziram pesquisas com intuito de inertizar o cromo contido na raspa de couro em uma matriz cimentícia. Para tanto, submeteram a raspa de couro em um tratamento químico em meio ácido, básico e neutro. A ideia desse tratamento é para que todo o material orgânico do resíduo se descompusesse antes de sua adição a matriz cimentícia, caso contrário a matéria orgânica contida na raspa de couro poderia se decompor com o tempo aumentando a quantidade de vazios dentro da matriz, refletindo diretamente na perda de resistência mecânica. O trabalho apontou o resíduo de couro tratado em meio ácido como o mais promissor, pois não afetou significativamente o tempo de pega e não demonstrou potencial deletério à matriz cimentícia.

A reutilização dos resíduos de couro em artefatos de cimento, isto é, concreto e argamassa ainda são pontuais e poucos explorados, há poucos trabalhos disponíveis na literatura para que se possa ter pleno conhecimento a respeito do comportamento deste resíduo dentro dessa matriz. Os estudos citados acima trabalharam com o pré-tratamento da raspa do couro com o intuito de estabilizar o Cr(III) para que este não oxide para sua forma mais perigosa (Cr(VI)) e quebrar as cadeias proteicas para evitar a decomposição da matéria orgânica presente na raspa do couro o que acarretaria no aumento dos poros da matriz, refletindo diretamente na perda de resistência à compressão.

Mesmo conseguindo estabilizar o Cr(III) na matriz cimentícia, os resultados até aqui apresentados se mostraram pouco desejáveis, pois para sua reutilização uma

operação a mais seria necessária, a do pré tratamento do resíduo, aumentando em demasia o custo para a fabricação final do compósito. Assim neste trabalho o resíduo utilizado não passou por nenhum tipo de tratamento química, visando diminuir essa etapa (pré tratamento), reduzindo o valor do produto final.

3.4 Concreto

Segundo Neville [36] o concreto pode ser definido como produto obtido a partir da mistura de cimento, água, agregados (grãos e miúdos) e aditivos. Os agregados grãos são unidos pela argamassa, formada pela união da areia, cimento e água, assim nota-se a importância da interface agregado grão/argamassa na resistência final do concreto.

De acordo com Mehta e Monteiro [37] o concreto é o material mais utilizado na construção civil e o segundo mais utilizado pelo homem no mundo, ficando atrás apenas da água. A razão pela ampla utilização desse material pode ser exposta em três partes, sendo a primeira, a ótima resistência à água, ou seja, resiste a ação da água sem grandes problemas de deterioração, diferente da madeira ou aço comum. Estes dois quando submetidos à ação da água devem ter suas superfícies revestidas com algum tipo de material, diferente do concreto que não necessita. A segunda é a facilidade de se obter peças de diferentes formas e tamanhos, uma vez que, o concreto no estado fresco possui consistência plástica favorecendo a dispersão do compósito por toda a forma, possibilitando uma infinidade de peças geométricas. O terceiro motivo e talvez o mais importante é o seu baixo custo e disponibilidade no mercado, pois seus componentes são facilmente encontrados em todas as partes do mundo.

3.4.1 Cimento

No campo da construção, cimento é o nome dado ao material ligante que misturado com os agregados forma a argamassa e o concreto. Sua principal propriedade é agir como um aglomerante, que em contato com a água endurece, e mesmo condicionado a ação da água novamente o mesmo não se altera, permanece enrijecido [38]

O processo de fabricação do cimento Portland consiste essencialmente em moer a matéria-prima (calcário com argila), misturá-las intimamente nas proporções

adequadas e aquecer essa mistura em um forno rotativo até uma temperatura de 1450 °C. Nessa temperatura, o material é sinterizado e parcialmente fundido formando clínquer. O clínquer tem formato granular, assim passa por um processo de resfriamento e moagem até se tornar um pó fino, resultando o cimento Portland comercial, largamente usado [39]. Segundo a ABNT NBR 16697/2018 [40], durante o processo de moagem pode-se adicionar materiais pozolânicos (material silicoso que quando moído e misturado com a água reage com o hidróxido de cálcio formando composto com propriedade aglomerantes), carbonáticos e escória de alto forno, desta maneira obtém-se a classificação do cimento segundo a porcentagem de cada material adicionado, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa)

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência (Mpa)	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum	CP I			95 - 100		0 - 5	
	CP I - S			90 - 94	0	0	0 - 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CP II - E			51 - 94	0 - 34	0	0 - 15
Cimento Portland composto com material pozolânico	CP II - Z	25, 32 ou 40		71 - 94	0	6 - 14	0 - 15
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II - F		RS ou BC	75 - 89	0	0	11 - 25
Cimento Portland de alto forno	CP III			25 - 65	35 - 75	0	0 - 10
Cimento Portland pozolânico	CP IV			45 - 85	0	15 - 50	0 - 10
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V	ARI		90 - 100	0	0	0 - 10

Fonte: Adaptado ABNT NBR 16697/2018

3.4.2 Agregados

De acordo com Mehta e Monteiro [41], os agregados possuem baixo custo e não formam reações complexas com a água, devido esse fato tem sido classificado como inerte dentro da mistura.

Podem ser classificados segundo origem, de acordo com a ANBR NBR 9935/2011 [42]:

Naturais: os que já se encontram de forma particulada na natureza, podendo ser utilizados sem nenhum processo industrial;

Artificial: os que necessitam passar por processos industriais para serem utilizados.

Segundo a ANBT NBR 7211/2019 [43], quanto suas dimensões:

- Agregado graúdo: material que passa na peneira com abertura de 75 mm e que fica retido na peneira com abertura de 4,75 mm;
- Agregado miúdo: material que passa na peneira com abertura de 4,75 mm e que fica retido na peneira com abertura de 150 μ m.

Segundo Coutinho [44], através de suas massas específicas:

- Agregados leves < 2000 kg/m³;
- Agregados normais 2000 a 3000 kg/m³;
- Agregados pesados > 3000 kg/m³.

De acordo com Neville [45], cerca de $\frac{3}{4}$ do volume do concreto é ocupado pelos agregados, portanto a qualidade dos agregados reflete diretamente nas propriedades do concreto, como a durabilidade e desempenho estrutural.

Sabe-se que os agregados possuem custo de mercado inferior ao do cimento, então é viável utilizar a maior relação possível de agregados na mistura para baratear o produto final.

3.4.3 Aditivo

A ABNT 11768/2011 [46], define aditivo como, produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, não ultrapassando valor de 5% da massa do cimento, com finalidade de modificar as propriedades durante a fase fresca e/ou endurecida do concreto.

São classificados pela ABNT 11768/2011 [46], como:

- Redutor de água ou plastificante (PN);
- Alta redução de água ou superplastificantes tipo I (SP – I);
- Alta redução de água ou superplastificantes tipo II (SP – II);
- Incorporador de ar (IA);

- Acelerador de pega (AP);
- Acelerador de resistência (AR);
- Retardador de pega (RP).

A aplicação dos aditivos confere ao concreto inúmeras vantagens, como físicas e econômicas, contudo, sua utilização não soluciona proporções insatisfatórias, componentes de qualidade indesejáveis ou ineficiência do transporte, lançamento e adensamento.

Os superplastificantes, permitem a redução de 20 a 30% de água da mistura mantendo a alta consistência e conferindo maior resistência ao concreto, pois há a diminuição do fator água/cimento, ou seja, passa a ser possível a produção de concreto de alta resistência, com trabalhabilidade normal e fator água/cimento baixo. [47]

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em cinco etapas, a primeira consistiu na coleta e micronização do resíduo de couro, em seguida, a caracterização dos materiais utilizados para confecção do concreto (resíduo de couro, areia e brita nº1). A partir dos dados obtidos fez-se o cálculo da dosagem de dois traços de concreto com diferentes tipos de cimento e relação a/c, a posteriori foram realizados ensaios de resistência à compressão, tração por compressão, índice de vazios, absorção de água, MEV e lixiviação. Na quinta etapa, utilizou-se o melhor para traço contendo resíduo de couro para produção das calçadas do Laboratório de Resíduos da UNESP de Presidente Prudente-SP.

4.1 Resíduo de couro

O resíduo de couro foi doado pelo Curtume Touro LTDA, na cidade de Presidente Prudente. Esse material é obtido na forma de “pequenas tiras”, proveniente da uniformização da manta de couro. Com o propósito do resíduo de couro substituir a areia, o material teve que ser micronizado em um micronizador da marca SCHILLING, pertencente ao laboratório de Tecnologia de Borracha e Aplicações, localizado no Núcleo Morumbi da UNESP de Presidente Prudente. Para tal fez-se o uso de equipamentos de segurança, tais como: luvas e máscara.

Esse aparelho reduz as fibras em partículas da ordem de 50 mesh. Na Figura 3, pode-se observar o micronizador, o couro vindo do curtume (a) e o produto final, já micronizado (b).

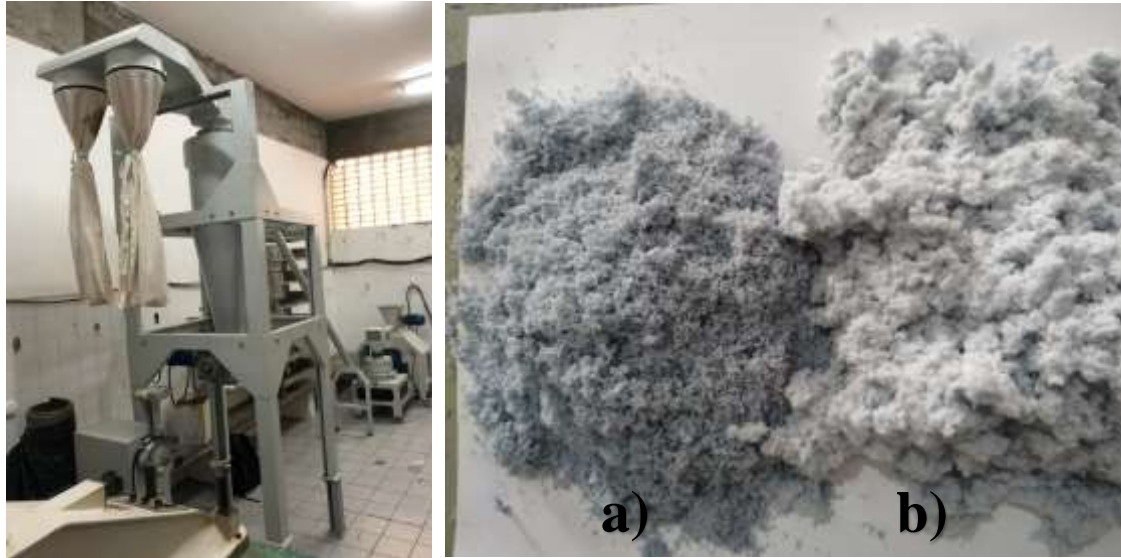


Figura 3 – Micronizador e resíduo de couro em fibras e micronizado

4.2 Caracterização dos agregados

Este tópico discorrerá a respeito dos ensaios de caracterização física dos agregados (areia e brita), necessários para a realização do cálculo do quantitativo de cada material para constituinte do concreto.

4.2.1 Granulometria e módulo de finura

Para determinar a granulometria do agregado miúdo e graúdo, utilizou-se ABNT NBR NM 248/2003 [48], a qual prescreve as peneiras utilizadas e o processo a ser seguido. As peneiras foram posicionadas sobre uma mesa vibratória, onde se adicionou uma quantidade do material em gramas e após isso o vibrador funcionou por cinco minutos. Passados os cinco minutos, retirou-se as peneiras com suas respectivas massas para a formulação da curva granulométrica. Para obter a porcentagem retida acumulada em cada peneira tem-se a Equação 1:

$$\%ret = \frac{\sum_i^n P_n}{\sum P_{total}} \cdot 100 \% \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

$\sum_i^n P_n$	Somatório da massa retida na peneira desejada;
$\sum P_{total}$	Somatório da massa total ensaiada.

O módulo de finura (MF) é uma grandeza adimensional obtida através da soma das porcentagens retidas acumuladas em massa das peneiras de série normal, dividida por 100 (Equação 2).

$$MF = \frac{\sum_i^n P_n}{100} \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo:

$\sum_i^n P_n\%$	Somatório das porcentagens retidas acumuladas em massa das peneiras desejadas
------------------	---

4.2.2 Massa específica dos agregados

Para determinar a massa específica e absorção de água da areia, seguiu-se a ABNT NBR NM 52/2009 [49] e ABNT NBR NM 30/2001 [50] que descreve como preparar a amostra e o procedimento do ensaio. O ensaio foi realizado em 5 etapas com 3 amostras diferentes.

Na primeira etapa, 1 Kg de areia foi imerso em água e saturado por aproximadamente 24 h, após isso deixou-se o material secar à temperatura ambiente. Em seguida, colocou-se o material em um molde cônico metálico e aplicou-se 25 golpes com uma haste de socamento, quando a amostra desmoronou com a retirada do molde, teve-se então a massa da amostra na condição saturada superfície seca (M_{SSS}).

Na segunda etapa, $500 \pm 0,1$ g de areia foi colocada em um frasco aferido de 500 cm^3 e registrou-se a massa do conjunto (M_1). Na terceira etapa adicionou-se água no frasco até próximo à marca de 500 mL e movimentou-se o frasco com o intuito de eliminar as bolhas de ar existentes, após 1 h, completou-se com água até a marca de 500 mL e fez-se a leitura (M_2). Na quarta etapa a amostra foi retirada e levada para a estufa (105 ± 5)°C e permaneceu em secagem até massa constante ($\pm 0,1$ g) para determinar a massa seca (M_s). Com todos os dados obtidos, na quinta etapa foram realizados os cálculos, segundo as equações abaixo:

Massa específica aparente (ρ), em g/cm^3

$$\rho = \frac{M_S}{V - V_A} \quad \text{Eq. 3}$$

Sendo:

V Volume do frasco, em centímetros cúbicos;

V_A Volume de água adicionada ao frasco, em centímetros cúbicos
(Equação 4):

$$V_A = \frac{M_2 - M_1}{\rho_a} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

ρ_a Massa específica da água, em gramas por centímetros cúbicos.

Massa específica após a saturação e fervura (ρ_{SSS}), em g/cm^3 .

$$\rho_{SSS} = \frac{M_{SSS}}{V - V_A} \quad \text{Eq. 5}$$

Massa específica seca (ρ_S), em g/cm^3 .

$$\rho_S = \frac{M_S}{(V - V_A) - \frac{M_{SSS} - M_S}{\rho_a}} \quad \text{Eq. 6}$$

Absorção de água (A), em %.

$$\rho_{SSS} = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} * 100 \quad \text{Eq. 7}$$

A massa específica e absorção de água da brita basáltica nº 1, foi determinada com o auxílio da ABNT NBR NM 53/2009 [51]. Este ensaio teve 4 etapas, em que na primeira separou-se a amostra e a imergiu em água por 24 h, após esse período retirou-se a amostra e com um pano absorvente secou-se sua superfície, obtendo sua massa na condição saturada superfície seca (M_{SSS}). Na segunda etapa essa amostra ainda saturada foi colocada em um cesto de arame para determinar sua massa em água/imersa (M_A). Na terceira etapa a amostra foi direcionada para estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ onde permaneceu até a

secagem total para determinar massa seca (M). Na quarta etapa foram realizados os cálculos, através das equações abaixo:

Massa específica seca (ρ_S), em g/cm^3

$$\rho_S = \frac{M_S}{M_{SSS} - M_a} \quad \text{Eq. 8}$$

Massa específica após a saturação e fervura ($\rho_{\text{SAT F}}$) em g/cm^3 .

$$\rho_{\text{SAT F}} = \frac{M_{SSS}}{M_{SSS} - M_a} \quad \text{Eq. 9}$$

Massa específica aparente (ρ_{ap}) em g/cm^3 .

$$\rho_{\text{REAL}} = \frac{M_S}{M_S - M_a} \quad \text{Eq. 10}$$

Para determinar a massa unitária compactada (ρ_{uc}) da brita, obedeceu-se ao método A da ABNT NBR NM 45/2006 [52], o qual foi realizado em 4 etapas. Na primeira mediu-se o volume (V) e massa (M_r) do recipiente, na segunda secou-se a amostra, na terceira houve o preenchimento do recipiente com 1/3, 2/3 e 1 (preenchimento total), em cada etapa foram aplicados 25 golpes com uma haste de socamento, logo após a superfície do recipiente foi nivelado e então determinado sua massa (M_{ar}). Na quarta etapa foi realizado o cálculo, de acordo com a equação 11.

$$\rho_{\text{uc}} = \frac{M_S}{M_S - M_a} \quad \text{Eq. 11}$$

4.3 Estudo da dosagem do concreto

4.3.1 Traço 1

O cimento utilizado nesse traço foi o CP II Z 32 que atende a ABNT NBR 16697/2018 [40] e o cálculo da dosagem foi realizado pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) em função da relação água/cimento (a/c) (0,5). Outros parâmetros como abatimento do tronco, diâmetro máximo do agregado graúdo e módulo de finura do agregado miúdo corroboraram para a definição do quantitativo de cada material.

A umidade da areia e do couro é um fator de extrema importância para se determinar com precisão a quantidade de água a ser adicionada ao concreto. Para tal utilizou-se o teste chamado *Speedy*. De acordo com DNER-ME 052/1994 [53], são introduzidas no *Speedy*: a amostra, duas esferas de aço e duas ampolas de carbureto de cálcio. Fecha-se o aparelho e agita-se-o até quebrar as ampolas, assim a água reage com o carbureto de cálcio liberando uma pressão acusada pelo manômetro. Com a leitura manométrica, traça-se uma linha horizontal até a curva de calibração e depois uma na vertical até tocar o eixo que representa a % de umidade.

As substituições começaram com 5% (C5) de areia pelo resíduo de couro e seguiu até que o concreto se mostrasse sem trabalhabilidade.

Sabe-se que há uma disparidade entre a massa específica dos materiais e que uma simples substituição em massa acarretaria num volume muito grande do resíduo de couro a ser acrescido. A fim de corrigir e encontrar a quantidade exata de massa do agregado reciclado, utilizou-se a Equação 12 [54].

$$M_{AR} = M_{AN} \cdot \frac{\rho_{AR}}{\rho_{AN}} \quad \text{Eq. 12}$$

Sendo:

M_{AR} Massa do agregado reciclado, em gramas;

M_{AN} Massa do agregado natural, em gramas;

ρ_{AR} Massa específica do agregado reciclado, em g/cm^3 ;

ρ_{AN} Massa específica do agregado natural, em g/cm^3 .

Para determinar o teor de argamassa do traço, utilizou-se a Equação 13.

$$\alpha = \frac{C + A}{C + A + B} \cdot 100\% \quad \text{Eq. 13}$$

Onde:

α Teor de argamassa, em %;

C Cimento, em Kg;

A Areia, em Kg;

B Brita 1, em Kg.

4.3.2 Traço 2

O cálculo do traço 2 foi semelhante ao do traço 1, porém empregou-se o cimento CP II F 40 que atende a ABNT NBR 16697/2018 [40]. A alteração do cimento fez necessária para aumentar a relação a/c para 0,6 com o intuito de reduzir o consumo de cimento, barateando o produto final, porém mantendo resistência alta do concreto.

4.3.3 Moldagem dos corpos de prova (CP)

O concreto foi produzido em uma betoneira de 400 Litros. Primeiro adicionou-se a brita basáltica e 25% da água, deixou-se misturar por 1 minuto, logo após acrescentou-se o cimento e mais 50% da água, misturou-se por mais 1 minuto, em seguida a areia misturada com a serragem de couro foi acrescentada e misturada por mais 2 minutos. Passado esse tempo foi adicionado restante da água (25%) e para finalizar a homogeneização, a mistura permaneceu por mais 1 minuto dentro da betoneira. Nos traços com aditivo superplastificante, o procedimento foi o mesmo e este foi adicionado no final para garantir a trabalhabilidade do concreto.

A moldagem dos CPs foi regida pela ABNT NBR 5738/2016 [55], em corpos cilíndricos de 10 x 20 cm, o concreto fresco foi compactado em duas camadas com cerca 12 golpes por uma haste de aço. Após a moldagem os CPs permaneceram cobertos por uma folha de plástico por 24 h, em seguida foram desmoldados e direcionados a uma câmara úmida à temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar superior a 95%. Para os ensaios mecânicos e físicos foram separados 3 CPs (devido ao controle tecnológico

durante a pesagem, batelagem, moldagem e cura) e para o ensaio de lixiviação 2 CP (1CP inteiro e 1CP rompido ao meio).

4.3.4 Aditivo superplastificante

Durante o processo de moldagem dos CPs notou-se a necessidade da utilização do aditivo superplastificante para fornecer trabalhabilidade ao concreto, pois o resíduo de couro estava absorvendo água da mistura devido característica hidrofílica. Portanto o aditivo superplastificante de policarboxilato, da marca Camargo Química, densidade de 1,06 g/cm³ e pH de 4,83; foi utilizado para manter o abatimento do tronco entre 10 e 15,5 cm, na classe S100 da ABNT NBR 8953/2015 [60]. Assim, o concreto C5, passou a ser chamado de C5A e o C10, de C10A.

4.4 Estudo do concreto no estado fresco (abatimento do tronco)

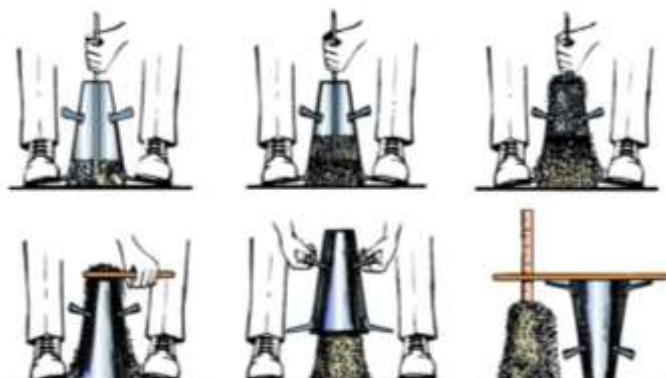
O abatimento do tronco, foi realizado de acordo com a NBR NM 67/1998 [56], para analisar a consistência/trabalhabilidade do concreto fresco pelo método do abatimento do cone.

O conceito de trabalhabilidade está relacionado à facilidade de manuseio, que depende de sua fluidez/consistência, onde se enquadra o lançamento, que depende do grau lubrificante da pasta de cimento, do atrito interno entre os grãos e do externo entre o concreto e a superfície de contato. O adensamento, consiste no esforço necessário para redução de vazios e acabamento, com perda mínima de homogeneidade, ou seja, mantendo sua estabilidade/coesão que seria a resistência à exsudação e à segregação [57]. Contudo, a trabalhabilidade não é uma característica inerente do concreto, pois sua aplicação dependerá do tipo de obra a ser executada.

Alguns fatores influenciam na trabalhabilidade do concreto, como alto teor de água na mistura, quantidade excessiva de finos, características dos agregados, como a dimensão máxima e uso de aditivos que podem auxiliar no controle da trabalhabilidade desejada.

O procedimento para determinação dessa característica do concreto fresco consistiu em colocar a amostra em um molde cônico padrão em 3 camadas, sendo cada camada compactada com 25 golpes de uma haste padrão. Após isso retirou-se o molde e

mediu-se o quanto o concreto decaiu em relação à altura do molde cônico, a Figura 4 representa o procedimento.



Fonte: Retirada do site www.clubedoconcreto.com.br

Figura 4 – Procedimento de execução do ensaio abatimento do tronco.

4.5 Estudo do concreto no estado endurecido

Após endurecido, pode-se determinar suas características mecânicas, físicas, morfológicas e lixiviatórias, sendo elas:

4.5.1 Resistência à compressão

Para resistência à compressão simples, seguiu-se a ABNT NBR 5739/2018 [58]. Foram separados 3 CPs de cada traço e rompidos nas idades de 7, 14 e 28 dias. Esse ensaio foi realizado na empresa Jomane – Concretagem e Serviços na cidade de Presidente Prudente, em uma prensa hidráulica da marca SOLOTEST, série 4294 com capacidade de 100 toneladas força. A Figura 5 mostra como o CP foi posicionado no centro do prato do equipamento e submetido a uma força progressiva, assim rompido o valor da força foi anotado e dividido pela área da seção transversal do CP para determinar a resistência deste.



Figura 5 - Execução do ensaio de resistência à compressão

A resistência à compressão é definida pela capacidade que o material tem de resistir à tensão sem que se rompa. É compreendida como a principal propriedade do concreto, pois além de estar relacionada ao módulo de elasticidade, impermeabilidade e durabilidade, é facilmente realizado nos laboratórios universalmente aos 28 dias de idade [59].

Segundo a ABNT NBR 8953/2015 [60], o concreto pode ser definido como estrutural e não estrutural, segundo sua resistência a compressão característica (F_{ck}), sendo:

Classe I: $20 \text{ MPa} < F_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$;

Estrutural dividido em duas classes:

Classe II: $50 \text{ MPa} < F_{ck} \leq 100 \text{ MPa}$.

Não estrutural: Sendo todo aquele com $F_{ck} < 20 \text{ MPa}$.

Segundo Callister [61], o concreto pode ser classificado como material frágil, ou seja, não possui parcela de deformação plástica, assim rompe com baixa deformação através da propagação das fissuras. Embora as vezes as fissuras externas não estejam totalmente visíveis, as fissuras internas já terão alcançado um estado o qual o material não suporte acréscimo de tensão.

Em geral, sabe-se que a resistência à compressão é afetada pela proporção dos materiais, bem como a textura superficial, forma e granulometria, por isso deve ser feita análise e dosagem criteriosa para se obter um compósito satisfatório. Condições de

cura, a hidratação do concreto está relacionada ao tempo e umidade o qual este está condicionado, assim a cura ineficiente pode ocasionar o favorecimento de fissuras devido a retração, deixando o concreto exposto aos agentes de deterioração externos. Contudo o fator mais importante é a relação água/cimento, já que este reflete diretamente no aumento ou diminuição da porosidade da matriz, refletindo diretamente na resistência à compressão do concreto [62]. No entanto o adensamento inadequado ou uso de aditivos incorporadores de ar, contribuem para o aumento de vazios, provocando a queda da resistência.

4.5.2 Resistência à tração por compressão diametral

Comumente utilizado no Brasil e conhecido internacionalmente como “Ensaio Brasileiro” o ensaio de tração por compressão diametral foi elaborado pelo Prof. Lobo Carneiro, em 1943. Surgiu da ideia de deslocar uma igreja para ampliação de uma avenida utilizando rolo de concreto, então o Prof. Lobo Carneiro ficou responsável pelo ensaio de capacidade de suporte dos cilindros. Ao ensaiar os cilindros o professor notou que a ruptura se deu por uma fenda vertical dividindo o corpo de prova ao meio por tração indireta.

O ensaio de tração por compressão diametral é regido pela NBR 7222/2011[63]. Para tal, 3 CPs de cada traço foram levados e ensaiados nas idades de 7, 14 e 28 dias na empresa SETEC da cidade de Presidente Prudente em uma prensa da marca PAVITEST, série 3025 com capacidade de carga de 120 toneladas força. Para execução deste ensaio o CP foi posicionado no eixo horizontal entre os pratos da prensa hidráulica e a força foi aplicada até a sua ruptura por tração indireta como se observa na Figura 6. Para calcular a resistência do CP, tem-se a Equação 14.

$$f_{cd} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot L} \quad \text{Eq. 14}$$

Sendo:

f_{cd} Resistência à tração por compressão diametral, em MPa;

F Força da ruptura, em N;

d Diâmetro do corpo de prova, em mm;

L Altura do corpo de prova, em mm.



Figura 6 – Execução do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

O valor da resistência à tração por compressão diametral é cerca de 10 a 15% da resistência à compressão, um pouco maior que a da tração direta (7 a 11%) [64,65]. Contudo é um ensaio simples de ser executado e que apresenta resultados mais uniformes que os da tração direta, tornando este ensaio popular [66].

4.5.3 Índices físicos

Em relação ao índice de vazios, como foi abordado no item 3.4.4.2, conforme a quantidade de vazios aumenta há a redução da resistência à compressão e este depende do fator água/cimento, grau de adensamento e do uso de aditivos incorporadores de ar.

A absorção de água está atrelada à durabilidade do concreto, pois estabelece a quantidade total de poros permeáveis existente na estrutura do compósito [67]. A água é um dos maiores agentes de deterioração do concreto, ou seja, para baixos valores de absorção tem-se maior dificuldade de penetração de água contendo íons agressivos que danificaram a estrutura do concreto [68]. Por ser um material que ficará exposto à ação da água durante toda sua vida, faz-se necessário conhecer essa propriedade que permite prever/estabelecer o seu grau de durabilidade do concreto.

A massa específica serve para analisar a peso da estrutura, assim o estudo da redução da massa específica do concreto, sem que esta perda suas propriedades mecânicas, visa obter o alívio de carga na estrutura, gerando redução no custo final da obra.

O índice de vazios (I_V) e absorção de água (A) foram realizados de acordo com a NBR 9778/2009 [69]. Foram utilizados 3 CPs para cada ensaio, procedimento consistiu na saturação por imersão em um período de 72 h, mais 5 h de fervura, assim

determinou-se a massa saturada superfície seca (M_{SSS}) e massa imersa (M_a). Depois os CPs foram levados para estufa onde permaneceram por mais 72 h para obter a massa seca (M_S). Com os dados coletados os resultados foram calculados com as Equações 15 e 16:

$$I_V = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_{SSS} - M_a} \cdot 100 \quad \text{Eq. 15}$$

$$A = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} \cdot 100 \quad \text{Eq. 16}$$

Para o cálculo das massas específicas utilizou-se as Equações 8, 9 e 10.

4.5.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para verificar a dispersão e a interação da serragem de couro dentro da matriz cimentícia foi realizado um estudo morfológico (MEV) com equipamento da marca Carls Zeiss modelo EVO LS15 do LabMEV – FCT/UNESP de Presidente Prudente, nos fragmentos coletados do interior dos CPs rompidos com 28 dias.

Primeiro as amostras foram fixadas em uma base (placa de isopor) e por se tratar de um material não condutor, tiveram que passar por um processo de metalização com uma camada ultrafina de ouro utilizando o *Sputtering* da marca Quorum modelo Q 150 R ES.

4.5.5 Digestão da amostra de couro

Para determinar o teor de Cromo total da amostra seguiu-se a ABNT NBR ISO 5398-3/2014 [70], que quantifica o material através da técnica de espectrometria de absorção atômica.

Foram realizadas três determinações, pois a norma exige no mínimo duas e todo o material utilizado foi devidamente preparado e todo procedimento foi realizado junto ao, Dr. Gabriel Mamoru Marques Shinohara.

Os reagentes utilizados foram:

- 10 mL de ácido nítrico 65%;
- ácido sulfúrico 98% e ácido perclórico 60% a 70%;
- Solução padrão de dicromato de potássio 2,829 g/L em água deionizada.

Cada 1 mL contém 1 mg de cromo;

- Solução de cloreto de potássio 0,2%: 2 g de cloreto de potássio em 1000 mL de água, 1 mL de ácido nítrico para cada litro de solução.

O procedimento foi realizado em 5 etapas, elas:

Etapa 1: Pesou-se 2,0 g de resíduo de couro em balança analítica e colocou-se dentro do frasco de Erlenmeyer, em seguida adicionou-se o ácido nítrico, porém, antes foi realizado a correção da quantidade de 10 mL para 10,8 mL porque o ácido nítrico do laboratório era de 65%. O material permaneceu em repouso por 2 minutos;

Etapa 2: Acrescentou-se 15 mL da mistura ácido sulfúrico + perclórico (3,75 mL de sulfúrico e 11,25 mL de perclórico) e 5 pérolas de vidro. Cobriu-se com antirrespingo o gargalo do frasco e aqueceu-se em uma tela de amianto, sobre chama moderada;

Etapa 3: Assim que a mistura começou a ficar laranja, reduziu-se a chama e após a completa mudança de cor (± 1 h), deixou-se aquecendo por mais 2 minutos;

Etapa 4: Deixou-se resfriar por mais ou menos 5 minutos, e diluiu para 200 mL com água deionizada e deixou-se ferver por mais 10 min para eliminar cloro;

Etapa 5: Para finalizar transferiu-se a solução analítica para um balão volumétrico de 250 mL e completou-se com a solução de cloreto de potássio 0,2%.

Para elaborar a curva de calibração pipetou-se com pipeta volumétrica 10 mL da solução padrão de dicromato de potássio para um balão volumétrico de 100 mL, completou-se com água deionizada. Após esse processo, com auxílio de uma bureta, transferiu-se 1, 2, 3, 4 e 5 mL desta solução para balões volumétricos de 100 mL e completou-se com solução de cloreto de potássio. Essas soluções contêm 1, 2, 3, 4 e 5 $\mu\text{g/mL}$ de cromo, respectivamente. Utilizou-se a Equação 17 para demonstrar a concentração de 1 $\mu\text{g/mL}$.

$$c_1 \cdot v_1 = c_2 \cdot v_2$$

Eq. 17

Onde:

c Concentração (mg/mL);

v Volume (mL)

.Redução da solução padrão de dicromato de potássio – 1 gm/mL de cromo

$$1 \frac{mg}{mL} \cdot 10mL = c_2 \cdot 100 mL = 0,1 \frac{mg}{mL}$$

Nova solução para elaboração da curva de calibração

$$0,1 \frac{mg}{mL} \cdot 1 mL = c_2 \cdot 100 mL = 0,1 \frac{mg}{mL} = 0,001 \frac{mg}{mL}$$

$$0,001 \frac{mg}{mL} = 1 \frac{\mu g}{mL}$$

Fez-se a leitura da curva de calibração com um equipamento da marca PerkinElmer precisely, modelo A Analyst 200, largura de fenda utilizada foi de 0,5 nm e a lâmpada com comprimento de onda 357,9 nm. Na Figura 7, observa-se a amostra padrão, a amostra com concentração reduzida, os 5 pontos para curva de calibração e as 3 amostras obtidas da digestão do couro.



Figura 7 – Balões volumétricos com as amostras prontas para leitura

Na Figura 8, observa-se a curva de calibração obtida

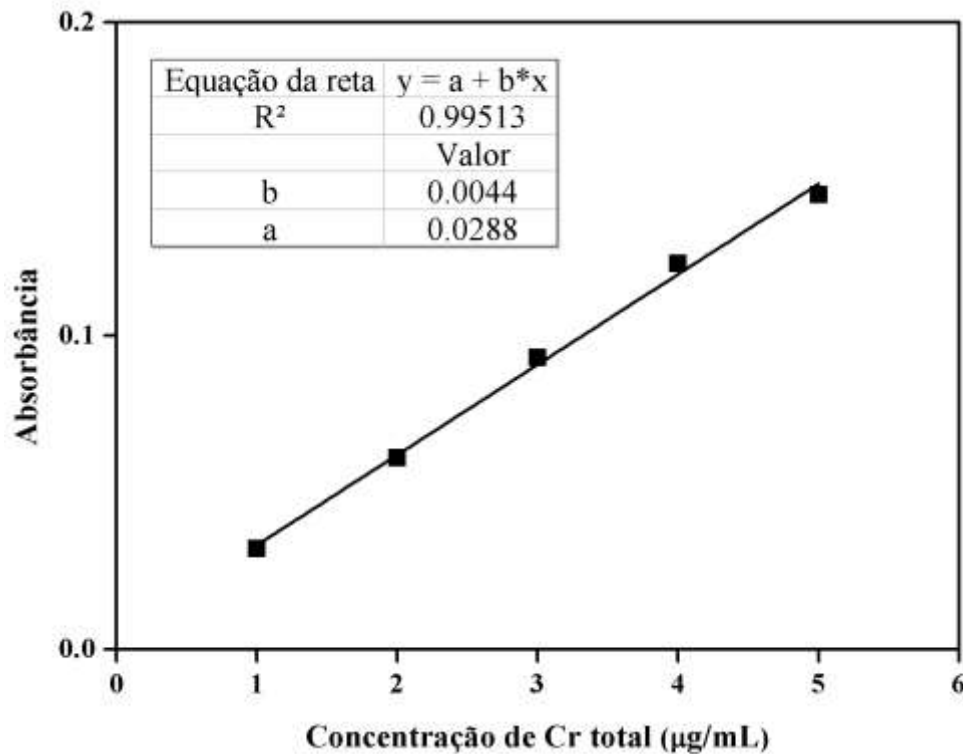


Figura 8 – Curva de calibração

4.5.6 Ensaio de lixiviação

A ABNT NBR 10.005/2004 [21], propõe um ensaio de lixiviação para resíduos usando um *jar test*, porém este ensaio não é adequado para se realizar em um CP de concreto com dimensões de 10x20 cm, portanto foram propostos e realizados dois ensaios de lixiviação se baseando nas soluções da ABNT NBR 10.005/2004 [21] e na dissertação de Hoppen [71]. Contudo, os CPs foram expostos a um ambiente mais agressivo, visando verificar a imobilização do cromo existente na serragem de couro que foi determinado de acordo com a NBR ISO 5398-3/2014 [70].

Esses ensaios foram realizados apenas no C5A e C10A (traço 1) e C5, C5A e C10A (traço 2), pois esses obtiveram trabalhabilidade e resistência adequadas para uso na construção civil.

4.5.6.1 Proposta 1

Um corpo de prova cilíndrico (10x20 cm) foi mergulhado na solução de extração nº 2 da ABNT NBR 10005/2004 [21]. Solução nº 2: 5,7 mL de ácido acético para volume de 1 L, o pH da solução obtida foi de 2,5. Em seguida o CP foi totalmente imerso nessa solução e permaneceu por 1 semana (o pH não foi controlado), conforme Figura 9.



Figura 9 – Execução do ensaio lixiviação, CP inteiro

Após esse tempo a solução foi homogeneizada e 5 alíquotas de 10 mL foram retiradas e armazenadas para análise.

4.5.6.2 Proposta 2

Um CP rompido ao meio foi mergulhado na solução de extração nº 2 da ABNT NBR 10005/2004 [21], sendo 5,7 mL de ácido acético para volume de 1 L e seu pH foi controlado, ficando sempre entre 2,5 e 4,5; conforme Figura 10.

CP rompido ao meio



CP rompido ao meio imerso na solução com pH controlado entre 2,5 e 4,5



Figura 10 – Execução do ensaio lixiviação, CP rompido

Após esse tempo a solução foi homogeneizada e 5 alíquotas de 10 mL foram retiradas e armazenadas para análise.

4.5.6.3 Preparação para análise de cromo total

De acordo com o Elmer [72] o Cr(VI) e Cr(III) exibem diferentes sensibilidades, então, se Cr(III) estiver presente, é aconselhável oxidá-lo para Cr(VI). Para oxidar a amostra foi seguido o estudo de Gomes [73]. Assim transferiu-se 25 mL da amostra obtida para um tubo digestor, onde foi adicionado a este 5 mL de ácido nítrico concentrado; logo após o tubo foi mantido em um bloco digestor, sob aquecimento de 120 °C. Após a evaporação da metade da solução foi adicionado 1,0 mL de solução de peróxido de hidrogênio 30% (v/v) e a amostra foi deixada sob refluxo até o final da digestão. As amostras permanecerem no bloco digestor \pm 24 h, como observa-se na Figura

11, em seguida o extrato do tubo digestor foi transferido para um balão volumétrico de 25 mL e completou-se o volume com a solução de cloreto de potássio 0,2%.

Amostra no tubo digestor



Tubos no bloco digestor

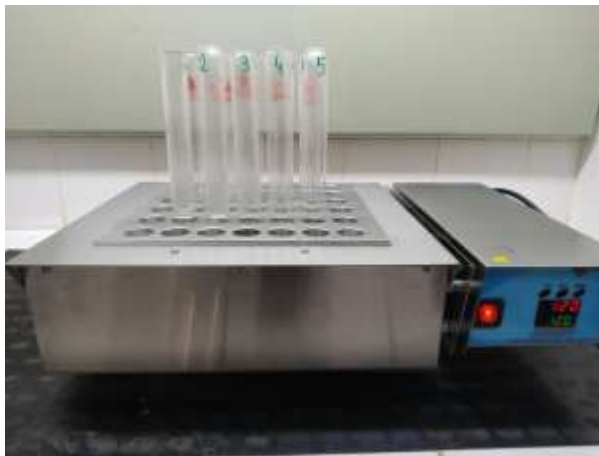


Figura 11 – Processo de oxidação para Cr(IV) das amostras

E por fim, pode-se observar na Figura 12 a leitura das amostras em um equipamento da marca PerkinElmer precisely, modelo A Analyst 200, largura de fenda utilizada foi de 0,5 nm e a lâmpada com comprimento de onda 357,9 nm



Figura 12 - Leitura das amostras obtidas

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos em cada análise.

5.1 Agregados

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos ensaios físicos dos agregados, miúdo e graúdo (areia e brita nº1)

Tabela 3 - Propriedades físicas dos agregados, miúdo e graúdo

Análise	Areia	Brita nº1
Massa específica aparente (g/cm^3)	2,64	2,91
Massa específica seca (g/cm^3)	2,76	3,01
Massa específica Saturada Superfície Seca (g/cm^3)	2,68	2,95
Massa unitária compactada (g/cm^3)	-	1,47
Absorção de água (%)	1,56	1,15
Diâmetro máximo do agregado - $D_{\text{máx}}$ (cm)	4,76	19,10
Módulo de Finura (MF)	2,46	9,85

Para massa específica do couro adotou-se o valor de $0,25 \text{ g}/\text{cm}^3$, o mesmo valor que Santos [74] em sua tese de doutorado, pois o material utilizado foi o similar.

Na Tabela 4, são apresentados os valores em porcentagem retida acumulada em cada peneira.

Tabela 4 -Ensaio de granulometria da brita 1

Aberturas (mm)	M. retida (g)	M. retida (%)	M. ret. Acum. (%)
4,760	9,40	0,94	0,94
2,380	39,50	3,95	4,89
1,190	115,70	11,57	16,46
0,590	260,50	26,05	42,51
0,297	388,30	38,83	81,34
0,150	180,20	18,02	99,36
0,074	4,80	0,48	99,84
Fundo	1,60	0,16	100,00
Σ	1000	100	

Tem-se na Figura 13, representação gráfica do comparativo da granulometria obtida com os limites, inferior e superior de utilização do agregado miúdo, segundo a ABNT NBR 7211/2019[43].

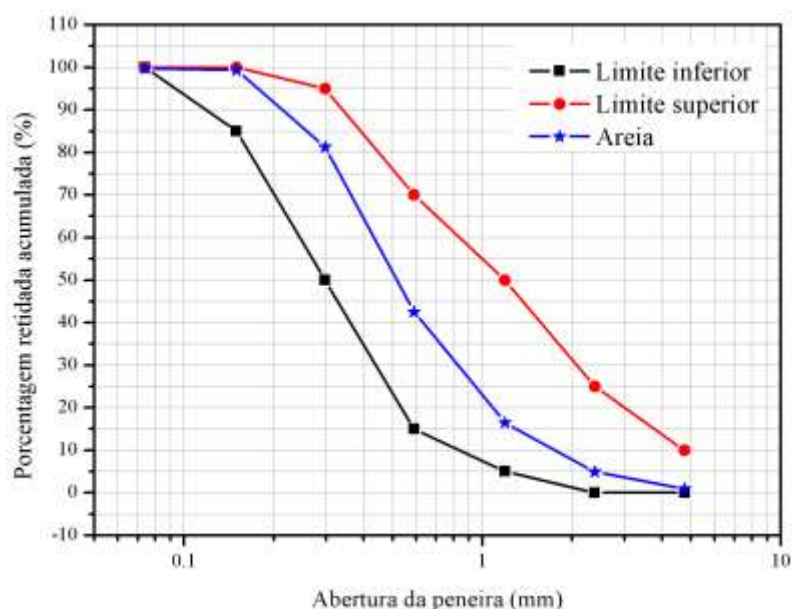


Figura 13 – Granulometria da areia

Conclui-se que a areia utilizada está entre os limites e possui boa distribuição de partículas, ou seja, há uma variada gama de dimensões de grânulos. O MF também

corroborar com essa conclusão, pois o seu valor está dentro da zona ótima de utilização que varia de 2,20 a 2,90, segundo ABNT NBR 7211/2019 [43].

Na Tabela 5, têm-se as porcentagens retidas acumuladas em cada peneira para o ensaio de granulometria da brita.

Tabela 5 - Ensaio de granulometria da brita 1

Aberturas (mm)	M. retida (g)	M. retida (%)	M. ret. Acum. (%)
19,10	19,70	1,97	1,97
12,70	833,20	83,32	85,29
9,52	121,00	12,10	97,39
6,53	23,60	2,36	99,75
4,76	2,10	0,21	99,96
2,36	0,40	0,04	100,00
1,18	0,00	0,00	100,00
0,60	0,00	0,00	100,00
< 0,60	0,00	0,00	100,00
Σ	1000	100	

Na Figura 14, é apresentada a curva granulométrica juntamente com os limites, inferior e superior, segundo ABNT NBR 7211/2019 [43].

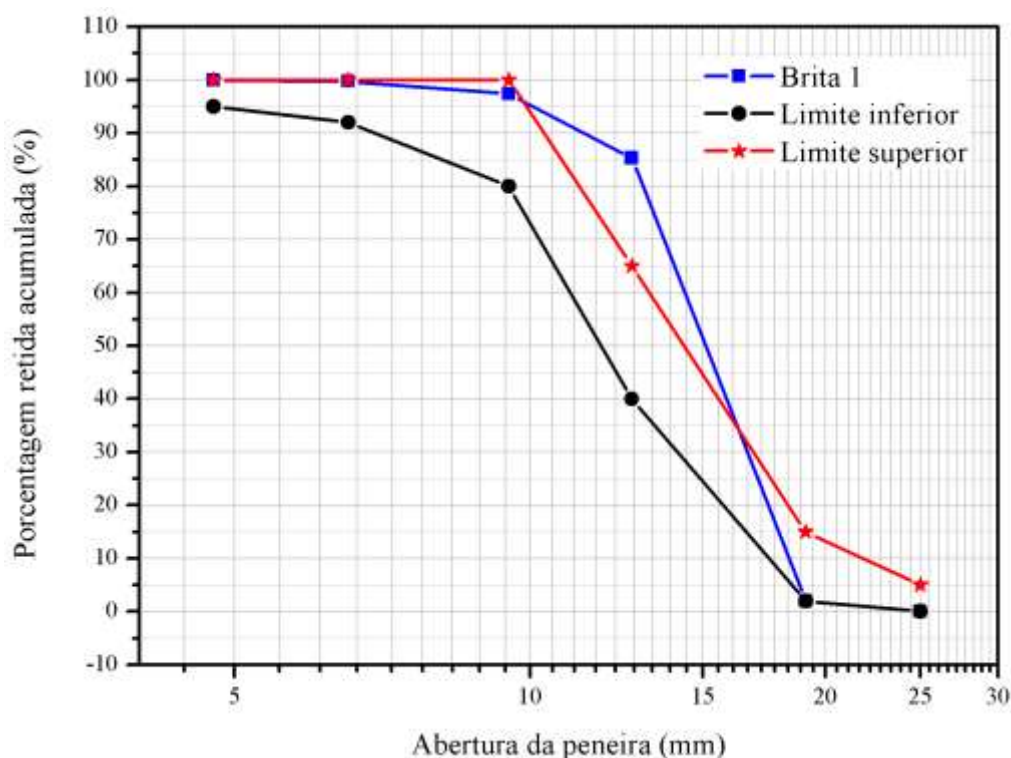


Figura 14 – Granulometria da brita

Percebe-se que há uma região onde a brita utilizada ultrapassa o limite superior de utilização apresentado pela ABNT NBR 7211/2019 [43]. Isso implica em uma quantidade de grânulos maiores, o que gera a necessidade de grânulos finos para evitar a falta de coesão que pode acarretar a segregação do concreto [75].

5.2 Dosagem

Feito a correção da massa do resíduo reciclado, obteve-se que para um metro cúbico de concreto confeccionado com 100% de couro e 0% de areia, seria necessário o valor de 71 kg para o traço 1 e de 76 kg para o traço 2. A substituição da areia pelo resíduo de couro foi possível apenas à taxa de 10% em relação a massa da areia, pois com esse valor o concreto se mostrou sem trabalhabilidade. Na Tabela 6, são expressos os valores encontrados para o Traço 1, relação a/c de 0,5 e teor de argamassa de 52% e 0,6% de aditivo superplastificante sobre a massa de cimento e resistência esperada de 30 MPa aos 28 dias de idade.

Tabela 6 - Composição (kg/m³) do Traço 1

Traço 1						
Materiais	Consumo kg/m ³					
	C s/a	C s/c	C5	C10	C5A	C10A
Cimento	400	400	400	400	400	400
Brita nº1	1090	1090	1090	1090	1090	1090
Areia	0	780	741	702	741	702
Água	200	200	200	200	200	200
Couro	71	0	3,53	7,06	3,53	7,06
Aditivo (g)					2400	2400

Na Tabela 7, são expressos os valores encontrados para o Traço 2, relação a/c de 0,6 e teor de argamassa de 52% e 0,2% de aditivo superplastificante sobre a massa de cimento e resistência esperada de 35 MPa.

Tabela 7 - Composição (kg/m³) do Traço 2

Traço 2						
Materiais	Consumo kg/m ³					
	C s/a	C s/c	C5	C10	C5A	C10A
Cimento	342	342	342	342	342	342
Brita nº1	1090	1090	1090	1090	1090	1090
Areia	0	840	798	756	798	756
Água	205	205	205	205	205	200
Couro	76	0	3,80	7,60	3,80	7,60
Aditivo (g)					684	684

Quando comparado o traço 2 com o traço 1, nota-se que este obteve uma redução de 14,5% do cimento empregado, um dado importante, pois dentre os materiais para se confeccionar o concreto o cimento é o mais custoso. Outra redução perceptível do

traço 2 em relação ao traço 1, foi a utilização do aditivo superplastificante, cerca de 28,5% a menos para se obter a mesma trabalhabilidade.

Essas reduções são importantes quando se pensa em produção de concreto em larga escala, pois além da economia tem o apelo ambiental na alternativa de destinação do resíduo de couro.

O aditivo superplastificante foi acrescentado na mistura para proporcionar fluidez. Sua dosagem consistiu em tentativas de se obter um valor de abatimento do tronco próximo a 16 cm no traço C5A. Encontrado o valor de 0,6% em relação a massa de cimento para o traço 1 e 0,2% em relação a massa de cimento para o traço 2, fixou-se esses valores para também serem utilizados nos C10A.

5.3 Estudo do comportamento do fresco

Na Tabela 8, estão apresentados os valores obtidos no ensaio de trabalhabilidade (*slump test*) dos traços, 1 e 2.

Tabela 8 - Abatimento do tronco (*slump test*)

Traço	1 a/c 0,5 (cm)	2 a/c 0,6 (cm)
C s/c	10	16
C5	2	8
C10	0	3
C5A	15,5	15,5
C10A	10	10

Ao analisar o traço 1, percebe-se que os traços sem aditivo apresentaram perdas de 80% para o C5 e 100% para o C10; no traço 2, as quedas foram de 50% para o C5 e de 81,25% para o C10.

Nota-se que o traço 2 possui maior trabalhabilidade se comparado com o traço 1, fato explicado pelo maior fator a/c, contudo em ambos os traços com o aumento da adição do resíduo de couro observa-se uma queda brusca nos valores do abatimento do tronco do concreto, comprometendo a trabalhabilidade dos compósitos.

Pode-se dizer então que a ação do aditivo foi eficiente, conferindo aos compósitos consistências usais para lançamento com bomba do modo convencional, segundo ABNT NBR 8953/2015 [60].

5.4 Estudo do comportamento do concreto endurecido

Neste capítulo são expostos os valores obtidos para os ensaios do concreto endurecido com e sem adição do resíduo de couro, sendo eles: resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, índices de vazios, absorção de água, massas específicas, microscopia eletrônica de varredura e lixiviação.

5.4.1 Resistência à compressão axial

Na Figura 16, estão expressos os valores médios com seus respectivos desvios padrões encontrados dos 3 CPs ensaiados referente ao traço 1 (a/c 0,5).

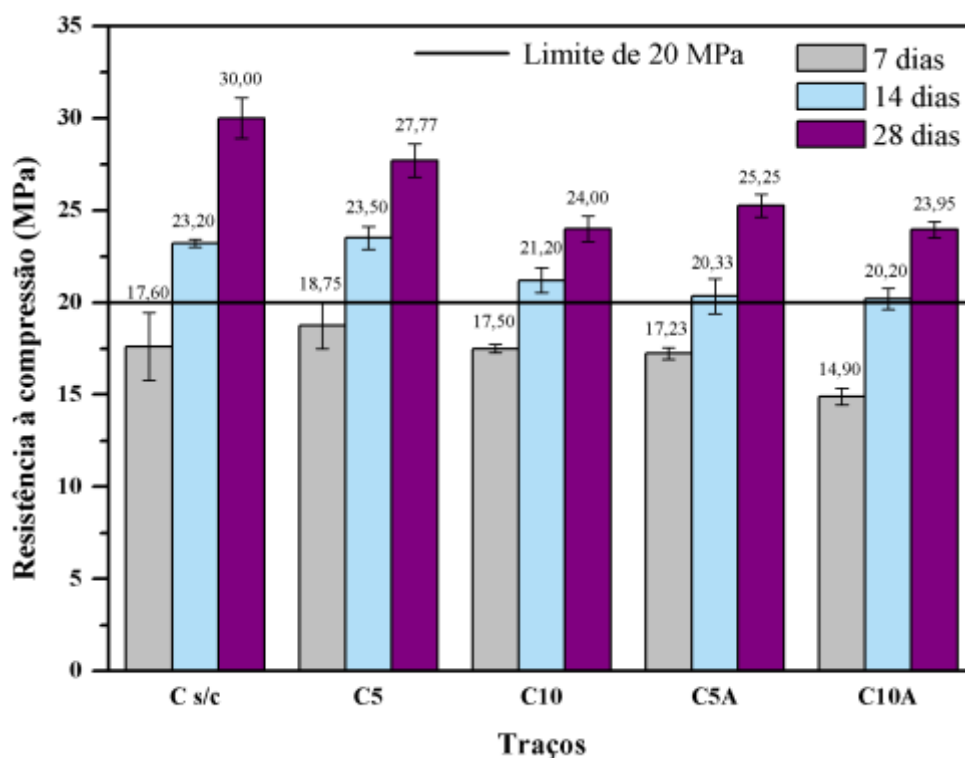


Figura 16 - Resistência à compressão do traço 1 (a/c 0,5)

Os valores ilustrados acima, demonstram que o concreto referência chegou precisamente na resistência esperada e que a adição da raspa de couro promoveu a

redução da resistência à compressão, redução observada por [80] ao adicionar esse resíduo em argamassas.

Ao comparar os resultados obtidos, nota-se que o processo de hidratação do concreto não foi afetado pela introdução do resíduo de couro na matriz cimentícia, pois a taxa de ganho de resistência até os 28 dias de cura foi similar à do concreto sem adição de resíduos.

Na idade de 28 dias (idade referência da cura do concreto), foi observada a diminuição de resistência à compressão de 7,43% para o C5 e 20% para o C10, quando comparados com o concreto sem adição de couro. Essa perda pode ser relacionada com a dificuldade no adensamento e moldagem dos CPs [81], uma vez que, a adição do resíduo de couro provocou perda de trabalhabilidade e aumento dos vazios.

Com adição de material fibroso no concreto, tem-se a propensão da incorporação de ar durante a mistura, assim há aumento do índice de vazios, contribuindo para redução da resistência [82]. Autores como, Awal [83] e Meddah & Bencheikh [84], relataram que ao adicionarem fibras de carpete e de polipropileno no concreto, respectivamente, houve o aumento da quantidade de vazios, ocasionando a queda da resistência à compressão.

Devido ao alto teor de saturação da fibra de couro, há um aumento da relação a/c na região em que essa se encontra, elevando o nível de vazios na zona de transição fibra/matriz [85], prejudicando a resistência à compressão.

Fujikawa [32] ao incorporar 10% de serragem de couro no concreto, relatou a diminuição de 73% na resistência à compressão, ou seja, 53% maior que a apresentada nesse trabalho para o C10. Essa diferença drástica deu-se, pois o autor adicionou água a cada dosagem de concreto com couro para conferir trabalhabilidade ao compósito, assim aumentando o fator a/c, conseqüentemente aumento a perda de resistência.

Quando comparado com o concreto sem adição de resíduo tem-se a queda de 15% para o C5A e 20,16% para o C10A, e quando comparado com os traços sem aditivo o C5A apresentou redução de 9% em relação ao C5. Esse comportamento é devido à ação do aditivo, pois sua ação faz com que uma partícula de água consiga hidratar maior área de cimento, ou seja, aumenta a área superficial da partícula de cimento, elevando o fator a/c e provendo o aumento da resistência. Usualmente quando se utiliza um aditivo superplastificante é realizado uma redução da quantidade de água do traço, assim o traço

é refeito em função do aditivo, contudo nesse trabalho não se optou por esse procedimento para não aumentar as variáveis e tornar sua reprodução mais simples. O C10A manteve a resistência igual à do C10, embora o aditivo forneça maior capacidade de hidratação do cimento, o couro por sua vez absorve mais água da mistura se comparada com a areia e como o C10A possui maior quantidade de resíduo de couro, pode-se concluir que este absorveu mais água que o C5A, reduzindo o fator a/c.

Na Figura 17, estão expressos os valores médios juntamente com seus desvios padrões encontrados para os 3 CPs ensaiados referente ao traço 2 (a/c 0,6).

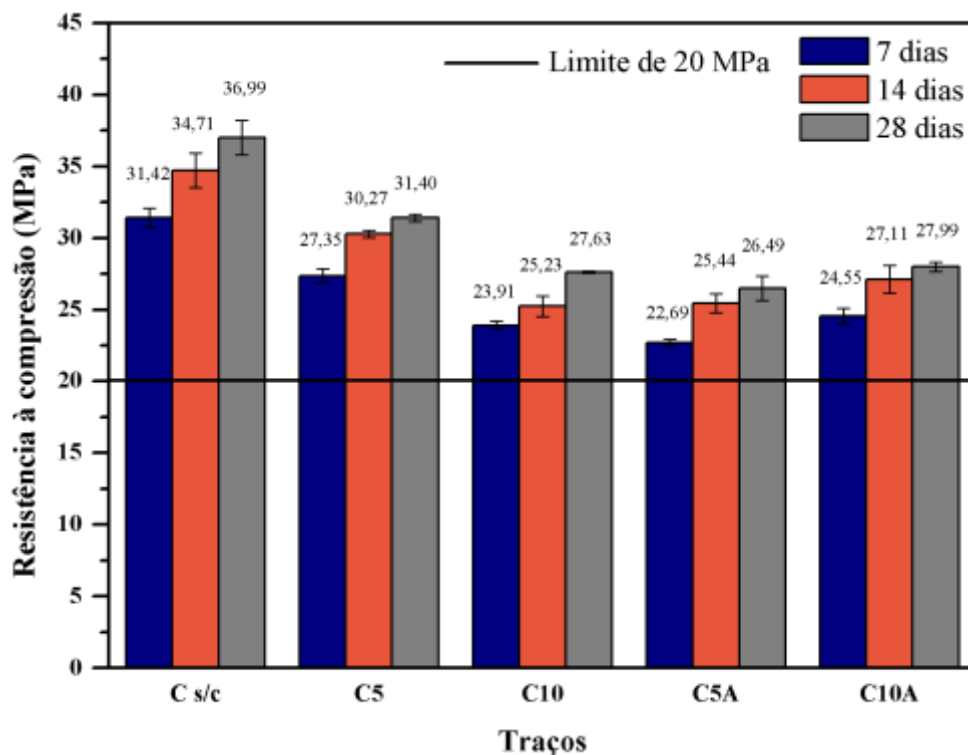


Figura 17 – Resistência à compressão do traço 2 (a/c 0,6)

Ao analisar os valores apresentados acima, observa-se que a resistência esperada para o concreto referência foi alcançada e em relação a adição de resíduo de couro nota-se o mesmo comportamento que o traço 1, diminuição da resistência com o aumento da adição do resíduo.

O C5 teve redução de 15% em relação ao concreto referência e o C10 queda de 25,3%. Quando comparada as dosagens com aditivo e sem aditivo do traço 2, o comportamento foi similar ao do traço 1.

Embora fique claro que a adição de resíduo de couro promova redução da resistência à compressão do concreto, de acordo com a ABNT NBR 6118/2014 [65] concretos com resistência acima de 20 MPa podem ser utilizados para confecção de peças de fundação e peças estruturais em concreto armado. A resistência também está interligada à durabilidade, podendo ser classificada da seguinte maneira [86]:

- ✓ Concretos duráveis – $F_{ck} > 35$ MPa;
- ✓ Concretos normais – $F_{ck} \geq 20$ Mpa e $F_{ck} \leq 35$ MPa;
- ✓ Concretos deficientes – $F_{ck} < 20$ Mpa.

Sendo assim, o C5A e C10A de ambos os traços são denominados como, concretos normais e sua aplicação é respaldada atendendo os critérios normativos.

5.4.2 Resistência à tração por compressão diametral

Nas Figuras 18 e 19, tem-se as médias obtidas dos 3 CPs ensaiados, contendo o desvio padrão das amostras dos traços, 1 e 2, respectivamente.

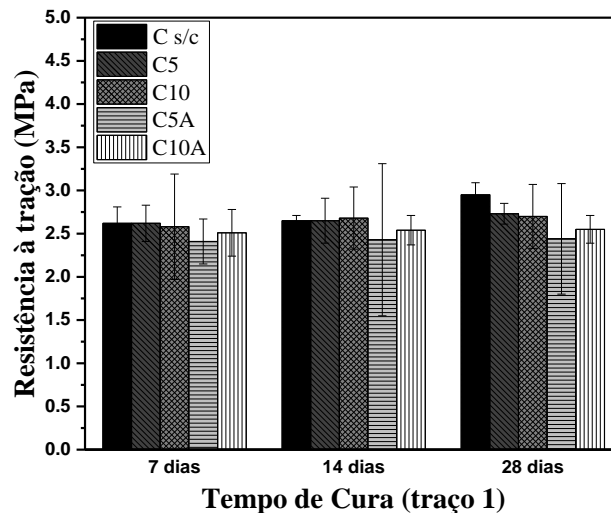


Figura 18 - Resistência à tração por compressão diametral dos CPs do traço 1 a/c 0,5

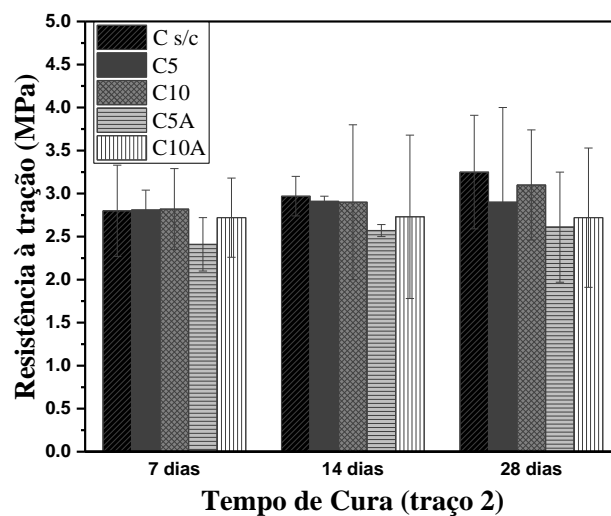


Figura 19 - Resistência à tração por compressão diametral dos CPs do traço 2 a/c 0,6

Materiais fibrosos tendem a contribuir com o aumento da resistência à tração em concreto [87], pois atuam como agente de reforço para matriz frágil do concreto, reduzindo as tensões internas [88]. Contudo, não se observa nenhum resultado significativo, ou seja, todos os resultados se comportam variando na ordem de 10 a 15% em relação à resistência à compressão axial. Esse resultado atende ao estabelecido pela ABNT NBR 6118/2014 [65].

5.4.3 Índices físicos – índice de vazios, absorção de água e massas específicas

Nas Figuras 20 e 21, pode-se observar a média com os desvios padrões dos 3CPs ensaiados para absorção de água e índice de vazios.

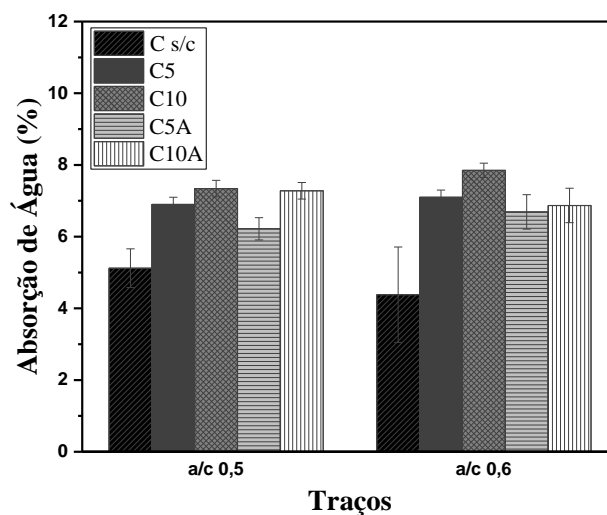


Figura 20 - Absorção de água das amostras

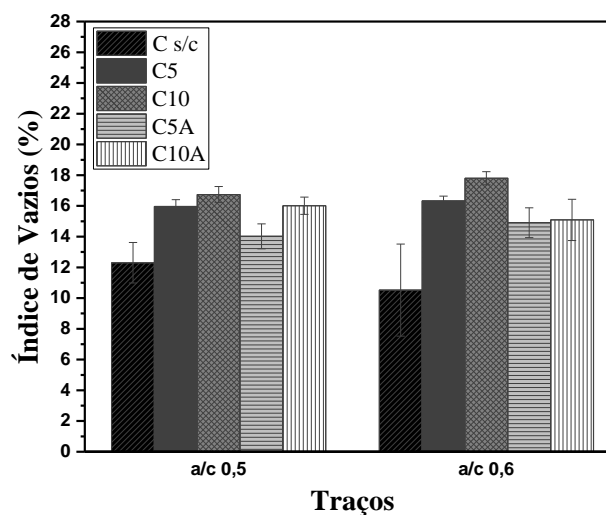


Figura 21 - Índice de vazios das amostras

Analisando os dados, verifica-se um salto em ambos os traços (1 e 2), tanto na absorção de água quanto no índice de vazios logo ao adicionar-se 5% de serragem de couro. Na Tabela 12, tem-se a elevação em porcentagem de cada traço em relação ao concreto sem adição de resíduo de couro.

Tabela 10 - Elevação em porcentagem da absorção de água e índice de vazios

	Traço 1 (a/c 0,5)		Traço 2 (a/c 0,6)	
	absorção (%)	vazios (%)	absorção (%)	vazios (%)
C s/c	0	0	0	0
C5	35	30	62	55
C10	43	36	79	69
C5A	21	14	53	42
C10A	42	30	57	43

Esse resultado já era esperado, e ocorrido pelo mesmo fator citado no item 3.3; que menciona a facilidade de absorção de água do couro. Assim zonas com elevadas concentrações de fator a/c são formadas contribuindo para formação de vazios, resultando na diminuição da resistência à compressão [85].

Ao analisar as amostras confeccionadas com aditivo (C5A e C10A), tanto do traço 1 quanto do traço 2 e compará-las com as dosagens sem aditivo (C5 e C10), verifica-se que estas tiveram os índices reduzidos (absorção e vazios). Esse resultado pode ser explicado pela ação do aditivo, este proporcionou maior homogeneidade (facilidade de compactação) nas amostras, elevando o grau de hidratação do concreto, conseqüentemente reduzindo os vazios dentro da matriz [89]. Contudo, não foi observado nenhum comportamento significativo na resistência à compressão.

Segundo a International Tunneling Association (1993 apud Lopes, 2019) [90], pode-se classificar a qualidade do concreto de acordo com a Tabela 13.

Tabela 11 – Classificação da durabilidade do concreto

Classificação	Absorção de água	Índice de vazios
excelente	< 6	< 14
boa	$6 \leq 8$	$14 \leq 17$
tolerável	$8 \leq 9$	$17 \leq 19$
ruim	> 9	> 19

Fonte: Adaptado, Lopes (2019).

Comparando os valores encontrados na Tabela 12 para os compósitos confeccionados com couro, conclui-se que todos se enquadram na categoria “boa durabilidade”.

Os valores obtidos (Tabela 14) para as massas específicas evidenciam as reduções como já era esperado, visto que, a massa específica do couro é dez vezes menor que a da areia. Assim todas as amostras são classificadas como concreto normal, segundo ABNT NBR 8953/2015 [60].

Tabela 12 – Massas específicas (g/cm³)

	Traço 1 (a/c 0,5)			Traço 2 (a/c 0,6)		
	Seca	Após Saturação	Real	Seca	Após Saturação	Real
C s/c	2,41	2,52	2,70	2,4	2,53	2,74
C 5	2,30	2,46	2,75	2,31	2,47	2,75
C10	2,27	2,44	2,76	2,28	2,45	2,74
C5A	2,23	2,38	2,62	2,25	2,39	2,62
C10A	2,19	2,34	2,58	2,20	2,36	2,62

Ao comparar as amostras confeccionadas com couro com e sem aditivo dos traços 1 e 2, nota-se a redução das massas específicas, cerca de 3%, valor que pode ser desprezado, pois a única variável foi a adição do aditivo.

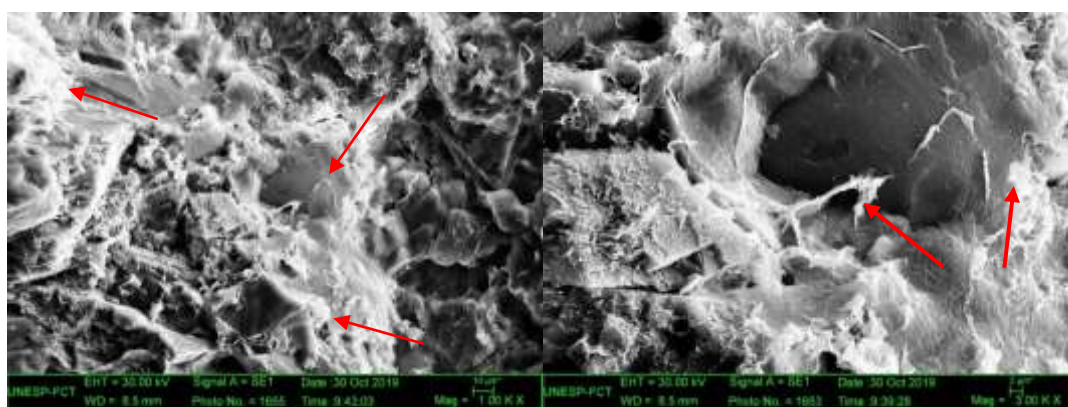
A redução da massa específica do concreto é um fator muito importante que merece estudo minucioso, pois essa característica implica diretamente no custo final da obra. Com a diminuição do peso próprio da estrutura, têm-se peças com dimensões reduzidas e que necessitam de menor quantidade de aço para suportar os esforços, barateando o valor final da obra.

Abaixo segue um exemplo da importância da redução de peso na estrutura;

Supondo uma laje com dimensões de 0,15x10x10 metros, tem-se volume total de 15m³. Caso fosse concretada com o C_{s/c} do traço 2, o peso total da laje seria de 36.000 kg (2.400 kg/m³ * 15 m³), contudo se fosse utilizado o C10A do traço 2 o peso total seria de 33.000 kg (2.200 kg/m³ * 15 m³), ou seja, a mesma estrutura teria um alívio de carga 3.000 kg.

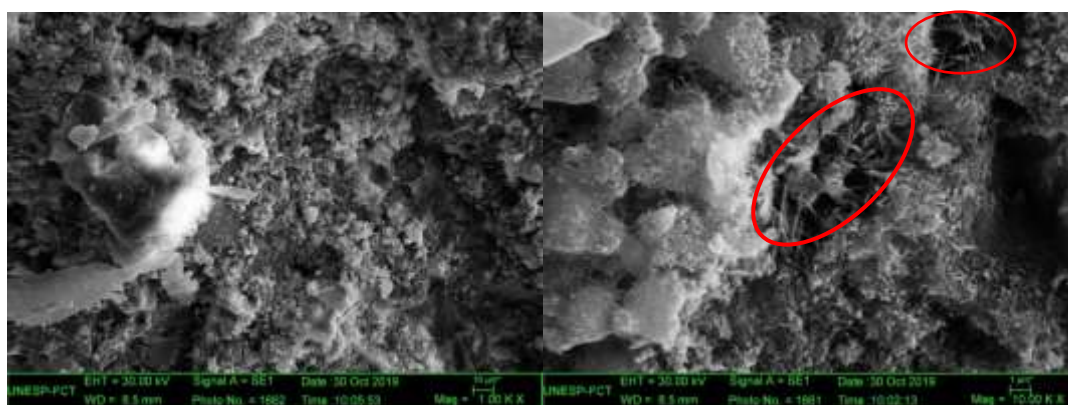
5.4.4 Estudo morfológico

Com a finalidade de analisar a dispersão da serragem do couro na matriz cimentícia, foram realizadas medidas de microscopia eletrônica de varredura (MEV). As imagens do C5A e C10A do traço 2 são mostradas na Figura 22.



C5A (a)

C5A (b)



C10A (a)

C10A (b)

Figura 22 – MEV das amostras confeccionadas com couro

Ao analisar as imagens, nota-se no C5A (a) a dispersão e interação no C5A (b) do resíduo de couro em um grânulo de areia. No C10A, sob a área circulado tem-se a formação de etringita primária, que são cristais prismáticos aciculares, derivados da hidratação do cimento logo no início da cura [31].

Não foi possível registrar no MEV imagens com zonas mais densas do resíduo devido sua dispersão dentro da matriz cimentícia, contudo ao analisar a homogeneidade dos corpos de provas, conclui-se que a fibra de couro teve comportamento similar ao grão

de areia (preenchimento). O aumento dos índices físicos é devido ao fato da fibra absorver maior quantidade de água em relação a areia, contudo as amostras com couro ainda são classificadas como concreto de boa qualidade. A perda de resistência mecânica é proporcionada pela diferença de módulo de elasticidade (fibra < areia), além do aumento dos índices físicos, mas a resistência obtida pelos compósitos está acima de 20MPa, classificando-os como concreto estrutural [65]

5.4.5 Digestão do Couro

Após o realizado o ensaio descrito no item 4.5.5, fez-se uma análise visual das as soluções obtidas das amostras de couro para determinar a quantidade de cromo total. Assim, partiu-se de aproximadamente 400 $\mu\text{g/mL}$, então utilizou-se a Equação 17, para a diluição necessária para ajustar a concentração da curva de calibração.

Diluição da solução obtida da digestão do couro

$$400 \frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \cdot 10\text{mL} = c_2 \cdot 100 \text{ mL} \rightarrow 40 \frac{\mu\text{g}}{\text{mL}}$$

Nova diluição da solução do couro para análise

$$40 \frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \cdot 20 \text{ mL} = c_2 \cdot 100 \text{ mL} \rightarrow 8 \frac{\mu\text{g}}{\text{mL}}$$

Na Tabela 15, são mostrados os valores das concentrações de cromo total, obtidas através do ensaio de espectrometria de absorção atômica para cada uma das três amostras de serragem de couro.

Tabela 13 - Concentração de cromo nas amostras de couro

Amostra	Couro ($\mu\text{g/mL}$)	Teor total de cromo (%)
1	3,178	1,98
2	3,155	1,97
3	3,188	1,99

Abaixo segue o exemplo da determinação do teor percentual total de cromo na amostra 1, para isso, fez-se o processo inverso como pode ser observado:

O valor encontrado estava contido na solução anterior de 100 mL, assim tem-se que:

$$\frac{3,178 \mu\text{g Cr}}{x} = \frac{1 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \rightarrow x = 317,8 \mu\text{g Cr}$$

Esse valor estava contido na alíquota retirada de 20 mL da solução anterior que pertencia a uma solução com volume total de 100 mL, portanto:

$$\frac{317,8 \mu\text{g Cr}}{x} = \frac{20 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} \rightarrow x = 1589 \mu\text{g Cr}$$

Esse valor estava contido na solução inicial de 250 mL, preparada a partir da digestão do couro, portanto:

$$\frac{1589 \mu\text{g Cr}}{x} = \frac{10 \text{ mL}}{250 \text{ mL}} \rightarrow x = 39725 \mu\text{g Cr} = 0,039725 \text{ g Cr}$$

Partindo da amostra inicial de 2 g de serragem de couro, pode-se concluir que:

$$\frac{2,0000 \text{ g}}{0,039725 \text{ g Cr}} = \frac{100 \%}{x \%} \rightarrow x = 1,99 \% \text{ Cr}$$

O valor obtido encontra-se de acordo com a literatura, a qual diz que o teor de cromo presente no couro pode chegar até 3% [31].

5.4.6 Lixiviação dos CPs

As amostras lixiviadas foram levadas para o espectrofotômetro de absorção atômica, para determinar a quantidade de cromo total liberado pela matriz cimentícia. Os valores podem ser observados nas tabelas 16 e 17.

Tabela 14 - Liberação de cromo total, ensaio proposto 1

		CP INTEIRO			
		LEITURA ($\mu\text{g/mL}$ de Cromo)			MÉDIA
		1	2	3	
TRAÇO 0,6	C5	0,329	0,210	0,241	0,260
	C5A	0,233	0,233	0,227	0,231
	C10A	0,131	0,099	0,115	0,115
TRAÇO 0,5	C5A	0,111	0,081	0,091	0,094
	C10A	0,136	0,173	0,100	0,136

Tabela 15 - Liberação de cromo total, ensaio proposto 2

		CP ROMPIDO			
		LEITURA ($\mu\text{g/mL}$ de Cromo)			MÉDIA
		1	2	3	
TRAÇO 0,6	C5	0,527	0,530	0,493	0,517
	C5A	0,378	0,447	0,383	0,403
	C10A	1,694	1,628	1,525	1,616
TRAÇO 0,5	C5A	0,577	0,621	0,499	0,566
	C10A	0,517	0,490	0,497	0,501

Analisando os ensaios propostos, 1 e 2, nota-se que o C5 liberou maior quantidade de cromo para o ambiente em relação ao C5A. Esse valor era esperado, pois o C5 possui maior quantidade de vazios e maior capacidade de absorção de água em relação ao C5A. Portanto é comprovado a eficácia do aditivo empregado, uma vez que

este promoveu a redução da porosidade, da absorção de água e consequentemente da liberação de cromo, além de conferir trabalhabilidade ao compósito.

Em relação à liberação de cromo da matriz cimentícia, o ensaio proposto 2 foi o mais agressivo, devido a maior área de contato e pH (2,5 – 4,5) mais ácido e controlado, contudo, os resultados estão abaixo do estabelecido pela ABNT NBR 10004/2004 [3], que prediz o máximo de 5 µg/mL. Portanto os compósitos são classificados como materiais não perigosos, sendo assim, seguros para aplicações dentro do setor da construção.

Abaixo segue o cálculo informativo que determina a porcentagem de liberação de cromo do concreto. No traço com adição de 10% de serragem de couro, utilizou-se 322,53 gramas para um volume de 27 CPs, supondo que a distribuição de serragem de couro seja igual para todos, um CP teria cerca de 11,95 g de serragem de couro, assim, em 27 CPs, tem-se:

Estimativa de Cr na porcentagem de couro adicionado

$$322,53 \text{ g} \cdot \left(\frac{1,98 \text{ Cr}}{100}\right) \rightarrow \frac{6,4}{27} \text{ Cr g} = 0.2365 \text{ Cr g}$$

Adotando o C5A do traço 2 (a/c 0,6), pois foi o que mais liberou cromo para o meio, logo, tem-se que determinar a concentração em cromo no volume de 25 mL, valor analisado. Para tal, utilizou-se o mesmo princípio de cálculo utilizado para digestão do couro, onde:

$$\frac{1,616 \text{ } \mu\text{g}}{x} = \frac{1 \text{ mL}}{25 \text{ mL}} \rightarrow x = 40,4 \text{ } \mu\text{g Cr}$$

Considerando que esse valor estava contido em um recipiente de 5 000 mL, pode concluir, que:

$$\frac{40,4 \text{ } \mu\text{g Cr}}{x} = \frac{25 \text{ mL}}{5000 \text{ mL}} \rightarrow x = 8080 \text{ } \mu\text{g Cr} = 0,008080 \text{ g Cr}$$

Logo:

$$\frac{0,2365 \text{ g Cr}}{0,008080 \text{ g Cr}} = \frac{100\%}{x} \rightarrow x = 3,42\%$$

Portanto, como demonstrado, fica mais que evidente a eficiência da imobilização do cromo dentro da matriz cimentícia sem necessidade de se realizar qualquer tipo de pré-tratamento na serragem de couro. Segundo Nardino [91], a interação das fibras da serragem de couro com a matriz cimentícia é favorecida pela sua microestrutura, contribuindo para o encapsulamento dos metais.

7. APLICAÇÃO

Para finalizar o projeto, foram elaborados 3 m³ do C10A, compósito com maior quantidade de serragem de couro do traço 2 (a/c 0,6). Esse material foi financiado pelo Curtume Touro Ltda de Presidente Prudente para confeccionar as calçadas do Laboratório de Resíduos da FCT – Presidente Prudente. Na Tabela 18, tem-se o quantitativo de cada material.

Tabela 16 - Composição de 3 m³ de C10A

Materiais (Kg)						
C10A	Cimento	Brita 1	Água	Areia	Couro	Aditivo
	1026	3270	600	2268	22,80	2,052

O material foi produzido na empresa Jomane, em Presidente Prudente-SP, onde o traço foi dosado adequadamente em caminhão betoneira. Em seguida, o material foi utilizado para concretar uma calçada, conforme mostrado na Figura 23.



Figura 23 - Calçadas confeccionadas com C10A

As propriedades de resistência à compressão, abatimento do tronco, absorção de água e índice de vazios foram reavaliadas a partir de amostras triplicadas dos espécimes C10A. A melhor homogeneidade da mistura fornecido pelo caminhão betoneira resultou na melhora das propriedades físicas e mecânicas em relação aos concretos de laboratório a partir da betoneira. Os resultados estão apresentados na Tabela 19).

Tabela 17 - Propriedades do concreto C10A usinado

Compósito	Resistência à compressão (MPa)	Abatimento do tronco (cm)	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)
C10A	30,81 ± 0,97	13,00 ± 1,00	4,97 ± 0,43	11,63 ± 0,93

O compósito C10A obteve propriedades otimizadas em 10% na resistência à compressão, 30% em trabalhabilidade, 28% na absorção de água e 23% no índice de vazios.

Por fim, foi analisado o ensaio de lixiviação em triplicata do concreto rompido, conforme o ensaio proposto 2, para determinar a liberação de cromo total dos corpos de prova. Os resultados estão expressos na Tabela 19.

Tabela 18 - Liberação de cromo total do concreto C10A usinado

Concreto	Cromo total (µg/mL)
	Corpo de prova rompido
C10A	0,668 ± 0,021
C10A	0,556 ± 0,038
C10A	0,739 ± 0,059

A otimização da homogeneidade da mistura fornecida pelo caminhão betoneira reduziu os índices físicos do compósito, refletindo diretamente na redução da liberação de cromo total no meio ambiente, tornando o material ainda mais seguro para aplicação.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho pode-se concluir que:

- Dentre os traços confeccionados o C10A do Traço 2 (0,6) se mostrou mais eficiente tanto nas propriedades mecânicas, trabalhabilidade e maior quantidade de resíduo utilizado;
- Em relação à compressão axial, todos os compósitos obtiveram resultados superiores à 20 MPa, garantindo ampla utilização no setor da construção civil;
- Quanto à resistência à tração por compressão diametral, não foi observado nenhuma alteração;
- Quando comparados os índices de vazios e absorção de água, o aumento do resíduo promove aumento desses valores, contudo os valores das massas específicas diminuíram;
- A utilização do aditivo superplastificantes, resultou na otimização da trabalhabilidade, resistência à compressão e índices físicos;
- Os ensaios lixiviatórios 1 e 2 demonstraram que a quantidade de cromo total liberado para o meio ambiente está abaixo do permitido pela ABNT NBR 10004/2004.
- De modo geral, a utilização da serragem de couro no concreto, reduz a quantidade de agregado natural a ser utilizado, diminuindo os danos gerados aos ecossistemas dos rios pela extração da areia, além da redução das áreas necessárias (aterros sanitários controlados) para depósito da raspa de couro e diminuição do descarte incorreto deste, minimizando o impacto ambiental.

7. PERSPECTIVAS

- Aumentar a quantidade de substituição, visando redução da densidade;
- Estudar a decomposição do resíduo na matriz cimentícia, o que acarretaria no aumento dos índices físicos;
- A interação do compósito com a armadura, para garantir que não haverá oxidação das armaduras, para que este material possa ser aplicado como concreto estrutural;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL, Resolução CONAMA nº313, Art. 1º, de 29 de outubro de 2002. Gestão de resíduos e produtos perigosos – tratamento. Publicada no DOU nº 226, de 22 de novembro de 2002.
- [2] PINTO, C. A. Estudo da estabilização por solidificação de resíduos contendo metais pesados. 229f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2005.
- [3] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004 – Resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- [4] URREGO YEPES, W. et al. Mechanical and rheometric properties of natural rubber composites filled with untreated and chemically treated leather wastes. *Journal of Composite Materials*, v. 53, n. 11, p. 1475-1487, 2019.
- [5] MENDES, V. R. V. et al. Evaluation of Incorporation of a Leather Waste Powder in Mortars for Construction Industry. In: *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications, 2015. p. 558-563
- [6] RIBEIRO, D. V.; YUAN, S. Y.; MORELLI, M. R. Influence of Addition of Chemically Treated Leather Shaving in the Portland Cement Mortars Characteristics. In: *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications, 2012. p. 1402-1407.
- [7] BINI, C.; MALECI, L.; ROMANIN, A. The chromium issue in soils of the leather tannery district in Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 96, n. 2, p. 194-202, 2008.
- [8] MODRO, N.L.R. et al. Avaliação de Concreto de Cimento Portland Contendo Resíduos de PET. *Revista Matéria*. v. 14, n. 1, p. 725-736, 2009
- [9] KACHOUH, N.; EL-HASSAN, H.; EL-MAADDAWY, T. Effect of steel fibers on the performance of concrete made with recycled concrete aggregates and dune sand. *Construction and Building Materials*, v. 213, p. 348-359, 2019
- [10] LIU, Z. et al. Experimental study of the geopolymeric recycled aggregate concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 28, n. 9, p. 04016077, 2016.
- [11] SANTOS, R. J. et al. Recycling leather waste: preparing and studying on the microstructure, mechanical, and rheological properties of leather waste/rubber composite. *Polymer Composites*, v. 36, n. 12, p. 2275-2281, 2015.

-
- [12] AGUIAR, J. L. et al. Incorporation feasibility of leather residues in bricks. *Key Engineering Materials Vols. 206-213 (2002) pp 2005-2008*, 2015.
- [13] ZAETANG, Yuwadee et al. Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, v. 111, p. 15-21, 2016.
- [14] LU, J. X. et al. Sustainable design of pervious concrete using waste glass and recycled concrete aggregate. *Journal of Cleaner Production* v. 234, p 1102 – 1112, 2019.
- [15] CUNHA JUNIOR, N. A Certificação verde no setor da construção civil: os benefícios da implementação da gestão e uso eficiente da água. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental), 136f. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2012.
- [16] DA SILVA BARBOSA, U. et al. Reutilização do concreto como contribuição para a sustentabilidade na construção civil. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 2178, p. 6925, 2018.
- [17] BRASIL. Lei nº 12.305, Art. 3º, inciso XVI, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 2010.
- [18] ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019*, 2019.
- [19] SILVA, F. A. Caracterização e análise da viabilidade do bloco confeccionado a partir da reciclagem de resíduos couro oriundos da indústria coureiro calçadista de Franca/SP. 86f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia). Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2019.
- [20] MATOS, João Paulo Cavalcante et al. Gerenciamento de Resíduos Sólidos e a Aplicação da Logística Reversa no Segmento da Construção Civil. ID on line *Revista Multidisciplinar e de Psicologia*, v. 13, n. 43, p. 784-807, 2019.
- [21] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.005 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- [22] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.006 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

-
- [23] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.007 – Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- [24] BRASIL, Resolução CONAMA nº358, Art. 21º, de 29 de abril de 2005. Gestão de resíduos e produtos perigosos – tratamento. Publicada no DOU nº 84, de 4 de maio de 2005.
- [25] BRASIL. Lei nº 12.305, Art. 9º, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2010.
- [26] BRASIL, Resolução CONAMA nº448, Art. 2º, inciso XI, de 18 de janeiro de 2012. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Publicada no DOU nº 14, de 19 de janeiro de 2012.
- [27] BRASIL, Resolução CONAMA nº307, Art. 2º, inciso VI e VII, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Publicada no DOU nº 136, de 17 de julho de 2002.
- [28] VAZ, H. P. et al. Aproveitamento dos resíduos de couros curtidos com cromo: resíduos da rebaixadeira. Lins, São Paulo, 2009.
- [29] CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia técnico ambiental de curtumes – 2. ed. rev. atual. São Paulo, 2015.
- [30] PERES, J. G. M. Viabilidade de utilização da serragem de couro para fins de obtenção de um material alternativo de construção.123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2005.
- [31] RIBEIRO, D. V.; YUAN, S. Y.; MORELLI, M. R. Efeito da adição de serragem de couro tratada quimicamente nas propriedades do cimento Portland. Química Nova, v. 34, n. 6, p. 979-983, 2011.
- [32] FUJIKAWA, E. S. Incorporação do resíduo serragem cromada em materiais de construção civil. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2002.
- [33] CICB, Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil. Disponível em <<http://www.cicb.org.br/cicb/sobre-couro>>. Acessado 05 de fevereiro de 2019.

-
- [34] BAFFA, I. Pré-fabricados de Concreto com couro, 46°. IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, 2004
- [35] TACHARD, A. L. R. S.; RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. Avaliação da resistência mecânica de argamassas de cimento Portland contendo serragem de couro tratada em meio ácido. In: 17º CBECIMat-Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, 2006.
- [36] NEVILLE, A. M. Tecnologia do concreto. 2ª Ed. Editora Bookman, p. 2, Porto Alegre, 2013.
- [37] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Microestrutura, propriedades e materiais. 2ª Ed. IBRACON, p. 1, São Paulo, 2014.
- [38] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Microestrutura, propriedades e materiais. 2ª Ed. IBRACON, p. 215, São Paulo, 2014.
- [39] NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5ª Ed. Editora Bookman, p. 2, Porto Alegre, 2016.
- [40] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16697 – Cimento Portland: Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- [41] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Microestrutura, propriedades e materiais. 2ª Ed. IBRACON, p. 275, São Paulo, 2014.
- [42] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9935 – Agregados: Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.
- [43] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211 – Agregados para concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2019.
- [44] COUTINHO, J. S. Agregados para argamassas e betões. Materiais de Construção, v. 1, 1999.
- [45] NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5ª Ed. Editora Bookman, p. 111, Porto Alegre, 2016.
- [46] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11768 – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

-
- [47] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Microestrutura, propriedades e materiais. 2ª Ed. IBRACON, p. 311, São Paulo, 2014.
- [48] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248 – Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- [49] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 52 – Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- [50] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 30 – Agregado miúdo: Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.
- [51] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 53 – Agregado graúdo: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- [52] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- [53] DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. ME 052 – Solos e agregados miúdos: Determinação da umidade com emprego do “Speedy”. 1994.
- [54] CABRAL, A. E. B. et al. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. *Cerâmica*, São Paulo, v. 55, n. 336, p. 448-460, 2009
- [55] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738 – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2006.
- [56] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 67 – Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro 2006.
- [57] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Microestrutura, propriedades e materiais. 2ª Ed. IBRACON, p. 388, São Paulo, 2014.
- [58] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- [59] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Microestrutura, propriedades e materiais. 2ª Ed. IBRACON, p. 52, São Paulo, 2014.

-
- [60] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8953 – Concreto para fins estruturais: Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2019.
- [61] Callister JR, William D. Material Science and engineering an introduction. 8th ed. John Wiley & Sons, Inc, p. 204, 2012.
- [62] DOS SANTOS, S. F.; DE ALMEIDA MOREIRA, L.; JUNIOR, L. A. S. Análisis experimental de la influencia de ceniza de cascara de arroz sin queima controlada como una adición mineral al hormigón. Research, Society and Development, v. 9, n. 1, p. 51911586, 2020.
- [63] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7222 – Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
- [64] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Microestrutura, propriedades e materiais. 2^a Ed. IBRACON, p. 74, São Paulo, 2014.
- [65] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.
- [66] GRANZOTO, L. Concreto com adições de borracha: uma alternativa ecologicamente viável. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, 2010.
- [67] ARAUJO, E. C.; DIAS, F. M. Massa específica e absorção de água de concretos manufaturados com agregados alternativos. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 4, n. 5, p. 774-783, 2011.
- [68] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Microestrutura, propriedades e materiais. 2^a Ed. IBRACON, p. 431, São Paulo, 2014.
- [69] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2019.
- [70] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISSO 5398-3 – Couro: Determinação química do teor de óxido crômico, Parte 3: Quantificação por espectrometria de absorção atômica. Rio de Janeiro, 2014.

-
- [71] HOPPEN, C. Reciclagem de Lodo de ETA Centrifugado na construção civil, Método alternativo de preservação ambiental. 2004, 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2004.
- [72] Perkin, E. Analytical methods for atomic absorption spectroscopy. USA: The Perkin-Elmer Corporation; 1996
- [73] GOMES, V. M. Estudo da mobilidade do cromo em área de descarte inadequado de resíduos de couro: possível contaminação de solos, águas e sedimentos. 81f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araraquara, 2010.
- [74] SANTOS, R. J. Obtenção de compósitos de borracha natural com resíduo industrial de couro reticulados com diferentes peróxidos. 122f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, 2014.
- [75] BUEST NETO, G. T. Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland. 149 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2006.
- [76] FOTI, D. Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers. *Construction and building materials*, v. 25, n. 4, p. 1906-1915, 2011.
- [77] ALYOUSEF, R. et al. Utilization of sheep wool as potential fibrous materials in the production of concrete composites. *Journal of Building Engineering*, 101216, 2020.
- [78] FERRO, V. R. H. Desenvolvimento de um Método Expedito Para Avaliação da Biodegradabilidade do Couro. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.
- [79] ALYOUSEF, R., et al. Effect of sheep wool fiber on fresh and hardened properties of fiber reinforced concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, v. 10, p. 190-199, 2019.
- [80] YUAN, S. Y. Estudo da Influência da Adição de Serragem de Couro Tratada Quimicamente nas Características de Argamassas de Cimento Portland. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2009
- [81] CORREA, P. M. Estudo comparativo da influência da adição de pet e pp pós-consumo na produção de concreto estrutural. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de

Minas, Metalúrgica e de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2015.

- [82] BORGES, A. P. S. N.; MOTTA, L. A. C.; PINTO, E. B. Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais. *Matéria (Rio J.)*, v. 24, n. 2, e12364, 2019
- [83] Awal, A. A., Mohammadhosseini, H. Green concrete production incorporating waste carpet fiber and palm oil fuel ash. *Journal of Cleaner Production*, v. 137, p. 157-166, 2016.
- [84] Meddah, M. S., & Bencheikh, M. Properties of concrete reinforced with different kinds of industrial waste fibre materials. *Construction and Building Materials*, v. 23, n. 10, p. 3196-3205, 2009
- [85] SEVASTANO JÚNIOR, H. Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. 152f. Tese (Livre-Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2000.
- [86] HELENE, P.R. do L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. 248f. Tese (Livre Docência em Engenharia de Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), 1993.
- [87] LUCENA, J. C. T. Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.
- [88] JÚNIOR, J. A. Análise experimental da adição de fibras poliméricas nas propriedades mecânicas do concreto. *Revista Matéria*, v. 22, n. 1, 2017.
- [89] Mohammadhosseini, H. et al. Durability performance of green concrete composites containing waste carpet fibers and palm oil fuel ash. *Journal of Cleaner Production*, v.144, p. 448-458, 2017.
- [90] LOPES, Herbert Medeiros Torres. Aplicação do conceito de empacotamento de partículas na otimização de dosagem de concretos de cimento Portland. 174f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP), 2019.
- [91] NARDINO, D. A. et al. Reutilização de Resíduos de Curtume na Fabricação de Blocos de Concreto Para Pavimentação: Avaliação das Características do Resíduo. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 3, p. 129-134, 2015.