

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GRACIELI MAPELLI**

**PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO  
DO LODO DE UMA INDÚSTRIA DE CURTUME**

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2021**

**GRACIELI MAPELLI**

**PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO  
DO LODO DE UMA INDÚSTRIA DE CURTUME**

**Production of Concrete Blocks from the Reuse of Sludge from a Tanning  
Industry**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof<sup>a</sup> Dra<sup>a</sup> Ticiane Sauer Pokrywiecki.

Coorientador(a): Prof<sup>o</sup> MSc. Wagner da Silveira.

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2021**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2

### **Produção de Blocos de Concreto a partir do Reaproveitamento do Lodo de uma Indústria de Curtume**

por

**Gracieli Mapelli**

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 9:00 horas, do dia 20 de agosto de 2021, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Banca Avaliadora:

---

**Ticiane Sauer Pokrywiecki**  
(Presidente da Banca)

---

**Wagner da Silveira**  
(Presidente da Banca)

---

**Thalita Grando Rauen**  
(Presidente da Banca)

---

**Denise Andréia Szymczak**  
(Professora Responsável pelo TCC)

---

**Adir Silvério Cembranel**

(Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental)

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

Dedico este trabalho à minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Mãe, seu cuidado, dedicação e força foi quem deram em alguns momentos a esperança para seguir e não desistir, o maior dos agradecimentos.  
E a todos que estiveram presentes ao longo desta jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

A professora Dra. Ticiane Sauer, por ter sido orientadora, não só no referido trabalho, mas toda a graduação. Obrigada pelos ensinamentos que me permitiram um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Ao professor Mrs. Wagner da Silveira, por ter sido coorientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade me auxiliando em todo o processo deste trabalho, sem sua ajuda isso não seria possível, meus sincero obrigada.

A professora Izadora Consalter Pereira pela sua amizade, compressão e confiança em mim. Obrigada por todos os ensinamentos e por ter aceitado o desafio de ser parte da banca no TCC 1, suas correções fizeram este trabalho muito melhor.

Aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado e a todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

A todos da empresa Bombonato Indústria e Comércio de Couros Ltda, pelo fornecimento da amostra de resíduo de lodo de cromo e pelo fornecimento da caracterização deste, além de dados referentes a empresa que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa e possibilitaram a realização deste trabalho.

À instituição de ensino UTFPR – Campus Pato Branco, pela realização da análise de compressão, em especial a professora Dra. Caroline Angulski da Luze e Claudia R B Baldin. À instituição de ensino UTFPR – Campus Francisco Beltrão, pela disponibilização dos laboratórios para as análises.

Agradeço especialmente a minha família, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram ao longo destes anos. A minha mãe que me incentivou nos momentos difíceis e compreendeu a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de toda a graduação. E ao meu namorado Jonatan Santin, por me ajudar na realização de cada etapa deste trabalho, saiba que o mérito também é seu.

## RESUMO

MAPELLI, Gracieli. **Produção de Blocos de Concreto a partir do Reaproveitamento do Lodo de uma Indústria de Curtume.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão 2021.

O desenvolvimento tecnológico aliado ao crescimento dos processos produtivos vem proporcionando melhorias na qualidade de vida da população, entretanto, este avanço vem produzindo cada vez mais resíduos. As indústrias de curtume vêm produzindo um dos resíduos considerados mais agressivos ao meio, pois no seu processo de curtimento ocorre a utilização de sais de cromo, o qual geralmente se encontra no estado trivalente, podendo ser oxidado a cromo hexavalente, facilmente solúvel e tóxico. Visando a reutilização adequada deste resíduo, proporcionando a diminuição de um passivo e, transformando-o em um ativo ambiental, o presente trabalho tem como objetivo verificar a possibilidade da produção de blocos de concreto com a incorporação de lodo de cromo, proveniente do processo de curtimento de uma indústria de couro. O lodo de cromo foi cedido por uma Indústria de curtume, localizada no norte do estado do Paraná, o qual foi caracterizado quanto a sua composição físico-química. Posteriormente o lodo foi seco, para a elaboração dos corpos de provas com adição de diferentes concentrações de lodo de cromo T1 (0%), T2 (5%), T3 (10%) e T4 (15%), com um traçado dos materiais 1:3. Com a caracterização do resíduo, foi possível classificá-lo como Classe I (Perigosos), pois encontrou-se elevadas concentrações de metais. As análises realizadas nos blocos obtidos, foram de resistência à compressão, inspeção visual e absorção de água. Como resultado foi possível verificar que houve perda de compressão com a adição do lodo, porém estes ainda ficaram enquadrados na classificação C de blocos com ou sem função estrutural. Em relação à absorção de água pôde-se observar que quanto mais lodo menor a absorção, obtendo resultado médio de 4%. Pela análise de inspeção visual verificou-se que os blocos não ficaram em conformidade com a normativa, possuindo trincas, e furos, provavelmente referentes à má compactação dos agregados, provocando perda da resistência. Apesar disso, pode-se concluir que o método de encapsulamento do resíduo na matriz cimentícia é viável, pois atendeu os parâmetros de resistência e absorção de água, além de promover a utilização de um resíduo com elevado potencial tóxico, produzindo um novo produto com valor agregado.

**Palavras-chave:** curtimento; sais de cromo; resíduos.

## ABSTRACT

MAPELLI, Gracieli. **Production of Concrete Blocks from the Reuse of Sludge from a Tanning Industry.** Course Conclusion Paper (Undergraduate) - Bachelor of Environmental Engineering. Federal Technological University of Paraná, Francisco Beltrão 2021.

Technological development allied to the growth of production processes has provided improvements in the population's quality of life, however, this advance has been bringing more and more waste. The tannery industries produce one of the residues considered more aggressive to the environment, as chromium salts are used in their tanning process, which is generally found in the trivalent state, and can be oxidized to hexavalent chromium, which is easily soluble and toxic. Aiming at the reuse of this waste, providing a reduction of a liability and transforming it into an environmental asset, the present work aims to verify a possibility of producing concrete blocks with an incorporation of chromium sludge from the tanning process of a leather industry. The chromium sludge was provided by a tannery located in the north of the state of Paraná, which was modified in terms of its physicochemical composition. Subsequently, the sludge was dried for the preparation of specimens with the addition of different specifications of chromium sludge T1 (0%), T2 (5%), T3 (10%) and T4 (15%), with a trace of the materials 1: 3. With the characterization of the waste, it was possible to classify it as Class I (Hazardous), as special metals were found. The analyzes carried out on the collected blocks were compressive strength, visual vision and water absorption. As a result, it was possible to verify that there was a loss of compaction with the addition of the sludge, but these are still known to fall under the classification C of blocks with or without structural function. In relation to water absorption, it was observed that the more sludge, the lower the absorption, obtaining an average result of 4%. Visual analysis analysis showed that the blocks not known in accordance with the regulations, having cracks and holes, probably referring to poor compaction of the aggregates, causing loss of strength. Despite this, it can be overcome that the method of encapsulating the residue in the cement matrix is viable, as it met the parameters of resistance and water absorption, in addition to promoting the use of a residue with a high toxic potential, producing a new product with value aggregate.

**Keywords:** tanning; chromium salts; waste.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma usual de curtimento do couro bovino ao cromo (1).....	15
Figura 2 - Fluxograma usual de curtimento do couro bovino ao cromo (2).....	16
Figura 3 - Bloco maciço de concreto simples.....	22
Figura 4 - Bloco vazado de concreto simples.....	22
Figura 5 – Evolução da resistência a compressão dos distintos tipos de cimento Portland .....	25
Figura 6 - Amostra de lodo de cromo (1) .....	30
Figura 7 - Amostra de lodo de cromo (2) .....	30
Figura 8 - Amostra de lodo de cromo (3) .....	30
Figura 9 - Remoção da umidade das amostras de lodo de cromo (1).....	31
Figura 10 - Remoção da umidade das amostras de lodo de cromo (2).....	31
Figura 11 - Moinho analítico (1) .....	32
Figura 12 - Moinho analítico (2) .....	32
Figura 13 – Peneira com abertura de 1,00 mm/ $\mu$ m .....	33
Figura 14 - Amostra sendo peneirada.....	33
Figura 15 - Amostra após a remoção de sólidos voláteis .....	33
Figura 16 - Moldes cilíndricos de PVC 10x20 (1) .....	34
Figura 17 - Moldes cilíndricos de PVC 10x20 (2) .....	34
Figura 18 - Moldes cilíndricos de PVC 10x20 (3) .....	34
Figura 19 - Materiais utilizados.....	34
Figura 20 - Cimento Portland .....	34
Figura 21 - Betoneira.....	34
Figura 22 - Corpos de prova no período de cura de 28 dias.....	36
Figura 23 - Análise de Inspeção Visual (1) .....	47
Figura 24 - Análise de Inspeção Visual (2) .....	47
Figura 25 - Análise de Inspeção Visual (3) .....	47
Figura 26 - Análise de Inspeção Visual (4) .....	48
Figura 27 - Análise de Inspeção Visual (5) .....	48
Figura 28 - Análise de Inspeção Visual (6) .....	48
Figura 29 - Média das análises de resistência à compressão.....	50
Figura 30 - Análise de absorção de água (1) .....	51
Figura 31 - Análise de absorção de água (2) .....	51
Figura 32 - Absorção de água dos corpos de prova.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões reais.....	23
Tabela 2 - Designação por classe, largura e espessura mínima dos blocos.....	23
Tabela 3 - Documentos Normativos.....	23
Tabela 4 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo .....	26
Tabela 6 - Classificação das areias .....	27
Tabela 5 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.....	28
Tabela 7 - Classificação comercial de britas .....	28
Tabela 8 - Composição dos corpos de provas a serem confeccionados .....	35
Tabela 9 - Número de amostras a serem fabricadas e respectivas análises.....	35
Tabela 10 - Resultados para o extrato lixiviado do resíduo de lodo de cromo.....	39
Tabela 11 - Resultados para o extrato solubilizado do resíduo de lodo de cromo .....	41
Tabela 12 - Resultados para a massa bruta do resíduo de lodo de cromo .....	43
Tabela 13 - Patogenicidade para massa bruta do resíduo de lodo de cromo .....	44
Tabela 14 - Ecotoxicidade para o Extrato Solubilizado do resíduo de lodo de cromo.....	45
Tabela 15 - Sólidos Voláteis e Fixos do resíduo de cromo .....	46
Tabela 16 - Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade .....	49
Tabela 17 - Resultados dos testes a compressão com 28 dias de cura .....	50
Tabela 18 - Absorção de água dos corpos de prova .....	52
Tabela 19 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração.....	53

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CICB	Centro das Indústrias de Curtume do Brasil
CH <sub>3</sub> SH	Metanotiol
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr(III) e Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cromia/Óxido de cromo (III)
Cr(VI)	Cromo hexavalente
Cr(OH)SO <sub>4</sub>	Sulfato básico de cromo
(CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Cromato
CrO <sub>3</sub>	Trióxido de cromo
CP 5 (ARI)	Cimento Portland 5 – Alta Resistência Inicial
Fe (II)	Óxido de ferro (II)
HCrO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Bicromato
H <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Ácido crômico
H <sub>2</sub> S	Sulfeto de hidrogênio
Ltda	Limitada
Mpa	Mega Pascal
NBR	Norma Técnica Brasileira
PVC	Policloreto de Vinila
SV	Sólidos Voláteis
SF	Sólidos Fixos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivos Gerais.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Indústria do Couro .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Processo de Tratamento e Curtimento do Couro .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Toxicidade do Cromo .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Processo de Redução e Oxidação do Cromo .....</b>	<b>18</b>
<b>3.5</b>	<b>Tratamento de Resíduos Industriais Perigosos.....</b>	<b>20</b>
<b>3.6</b>	<b>Blocos de Alvenaria .....</b>	<b>21</b>
<b>3.7</b>	<b>Concreto: Materiais e seus Componentes Básicos .....</b>	<b>24</b>
3.7.1	Cimento .....	24
3.7.2	Agregados.....	26
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da Área Experimental .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Coleta da Amostra .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3</b>	<b>Caracterização do Lodo de Cromo .....</b>	<b>30</b>
<b>4.4</b>	<b>Secagem do Lodo de Cromo .....</b>	<b>31</b>
<b>4.5</b>	<b>Elaboração dos Corpos de Prova .....</b>	<b>33</b>
<b>4.7</b>	<b>Teste de Resistência à Compressão .....</b>	<b>36</b>
<b>4.8</b>	<b>Teste de Inspeção Visual .....</b>	<b>37</b>
<b>4.9</b>	<b>Análise de Absorção de Água .....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização do Lodo .....</b>	<b>38</b>
5.1.1	Lixiviação .....	38
5.1.2	Solubilização .....	40
5.1.3	Avaliação Química .....	42
5.1.4	Patogenicidade para Massa Bruta.....	44
5.1.5	Ecotoxicidade para o Extrato Solubilizado .....	45
5.1.6	Classificação do Resíduo.....	45
<b>5.2</b>	<b>Determinação do Teor de Umidade, Sólidos Voláteis e Fixos.....</b>	<b>46</b>
<b>5.3</b>	<b>Teste de Inspeção Visual .....</b>	<b>47</b>
<b>5.4</b>	<b>Teste de Resistência à Compressão .....</b>	<b>49</b>
<b>5.5</b>	<b>Análise de Absorção de Água .....</b>	<b>51</b>

<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico aliado ao crescimento dos processos produtivos vem proporcionando melhorias na qualidade de vida da população, no entanto, este avanço acarreta agressões ao meio ambiente, produzindo cada vez mais resíduos. A gestão e disposição inadequada por meio das indústrias pode acarretar prejuízos à saúde humana e o meio ambiente.

Deste modo, as indústrias de curtume de couro vêm produzindo um dos resíduos considerados mais agressivos ao meio, pois no seu processo de curtimento ocorre a utilização de sais de cromo, o qual geralmente se encontra no estado trivalente, podendo ser oxidado a cromo hexavalente, facilmente solúvel e tóxico (ABREU, 2006).

No processo de curtimento Fabiani et al. (1997) salientam que somente 60% do total dos sais de cromo reagem com as peles, sendo que cerca de 40% do cromo permanece nos resíduos sólidos e líquidos. Segundo Sundar (2002), cerca de 90% da produção global de couros é realizada através do processo de curtimento ao cromo. Geralmente, são mais caros, relativamente aos outros curtentes e são mais usados como auxiliares de curtimento, aumentando a penetração de outros produtos (CETESB, 2015). Estima-se que cada pele curtida gera-se em média 7,5 kg de lodo de cromo. Atrelado a esta estimativa, a disposição inadequada deste resíduo sólido continua sendo um problema devido ao seu alto potencial de periculosidade, reatividade e toxicidade (BASEGIO, 2002).

Os resíduos sólidos são classificados pela legislação brasileira (NBR 10004/2004), quanto a sua periculosidade, considerando a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. Quanto aos resíduos provenientes do processo de curtimento sua classificação se enquadra na classe I, ou seja, resíduos perigosos. Porém, considerando que a disposição final destes resíduos em aterros industriais não contribui significativamente para a sustentabilidade socioambiental, o uso destes resíduos considerados como passivos ambientais precisa ser consolidado. Portanto, tende-se a necessidade de buscar alternativas viáveis para reduzir, reutilizar, reciclar ou recuperar este resíduo de maneira apropriada (PERALTA, 2014).

Em vista disso, a reutilização adequada deste resíduo proporciona a diminuição de um passivo, o qual pode ser transformando em um ativo ambiental, quando inserido na fabricação de pigmentos para a indústria de revestimentos cerâmicos (ABREU, 2006), artefatos cerâmicos (OLIVEIRA, 2008), na fabricação de vidros sodo – cálcicos (PERALTA, 2014), e em outros materiais. Além disso, promove a minimização dos impactos provocados ao meio ambiente, na saúde e redução dos custos de destinação dos resíduos gerados em uma indústria de curtume.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Produzir blocos de concreto com a incorporação de diferentes proporções de lodo de cromo, proveniente do processo de curtimento de uma indústria de couro.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar a composição físico-química inicial do lodo de cromo;
- Fabricar corpos de prova de concreto, com diferentes proporções de lodo de cromo.
- Realizar ensaios relacionados a resistência mecânica com ensaios de compressão;
- Realizar ensaios de inspeção visual dos corpos de prova;
- Verificar a absorção de água dos corpos de provas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Indústria do Couro

O couro é um material originado da pele animal e possui um conjunto de propriedades físicas e estéticas que proporcionam alta durabilidade e estabilidade em relação à variação da temperatura e umidade dos produtos em que é aplicado. Segundo CICB (2021), o Brasil possui o maior rebanho comercial bovino do mundo e figura entre os cinco grandes produtores globais de couro, possuindo cerca de 260 indústrias de curtume, as quais localizam-se principalmente na região sul e sudeste do país.

Além disso, mais de 2.800 indústrias exploram o couro para a produção de subprodutos como calçados, estofados, tapeçaria, vestuário, entre outros. A cadeia produtiva do couro gera 50.000 empregos diretos e movimenta US\$ 3 bilhões a cada ano, exportando para mais de 80 países, entre eles, China, Itália e Estados Unidos, assim, aumentando o lucro líquido do país. Desta forma, o segmento de curtimento e outras preparações de couro respondem por cerca de 60% do valor exportado, essencialmente “wet blue” baixa qualidade (CICB, 2021; ABREU, 2006; PACHECO, 2005).

O couro cru passa pelo processo de curtume, o qual proporciona a diminuição dos processos de decomposição e degradação das fibras do couro com o decorrer do tempo, não alterando sua qualidade. O processo consiste em um pré-tratamento, transformando o colágeno presente na pele para um estado imputrescível, tornando-a em couro. Este pode ser realizado por meio de três maneiras: a mineral, a vegetal e a sintética (PACHECO, 2005).

O processo de curtimento mais utilizado é o mineral, no qual os sais de cromo reagem com a pele tornando-a imputrescível, este processo mineral se destaca sobre os demais devido ao tempo relativamente curto do curtimento e pela qualidade que é conferida ao couro, sendo que as peles curtidas com sais de cromo têm melhor resistência mecânica, resistência hidrotérmica e extraordinária capacidade de tingimento, em comparação à peles tratadas por substâncias vegetais (PACHECO, 2005; ABREU, 2006). No entanto, somente uma fração dos sais de cromo reage com a pele, o restante permanece nos resíduos do processo, o qual é constituído principalmente por hidróxido de cromo, óleos, graxas, cálcio e magnésio (BRAILE, 1979; PINTO, 2001). Desta forma, tem-se encontrado elevadas concentrações de metais pesados em águas e sedimentos de rios os quais foram expostos ao lodo, principalmente cromo, zinco, cobre, cádmio e chumbo (AVELAR, 1997).

O processo produtivo do couro é hoje uma das principais fontes poluidoras, pois apresenta elevadas concentrações de metais pesados. Cerca de 80% do couro é curtido ao

cromo, e aproximadamente 40% do volume total são perdidos, sendo ele potencialmente tóxico ao meio. Calcula-se que para cada tonelada de pele, tem-se a produção de 200kg de couro e 600kg de resíduo sólido (60% do peso inicial) (TAYLOR et al, 1998). Segundo Revista Gerenciamento Ambiental (2003) a destinação final deste lodo em aterros industriais apresenta um custo médio de R\$ 160,00 por metro cúbico.

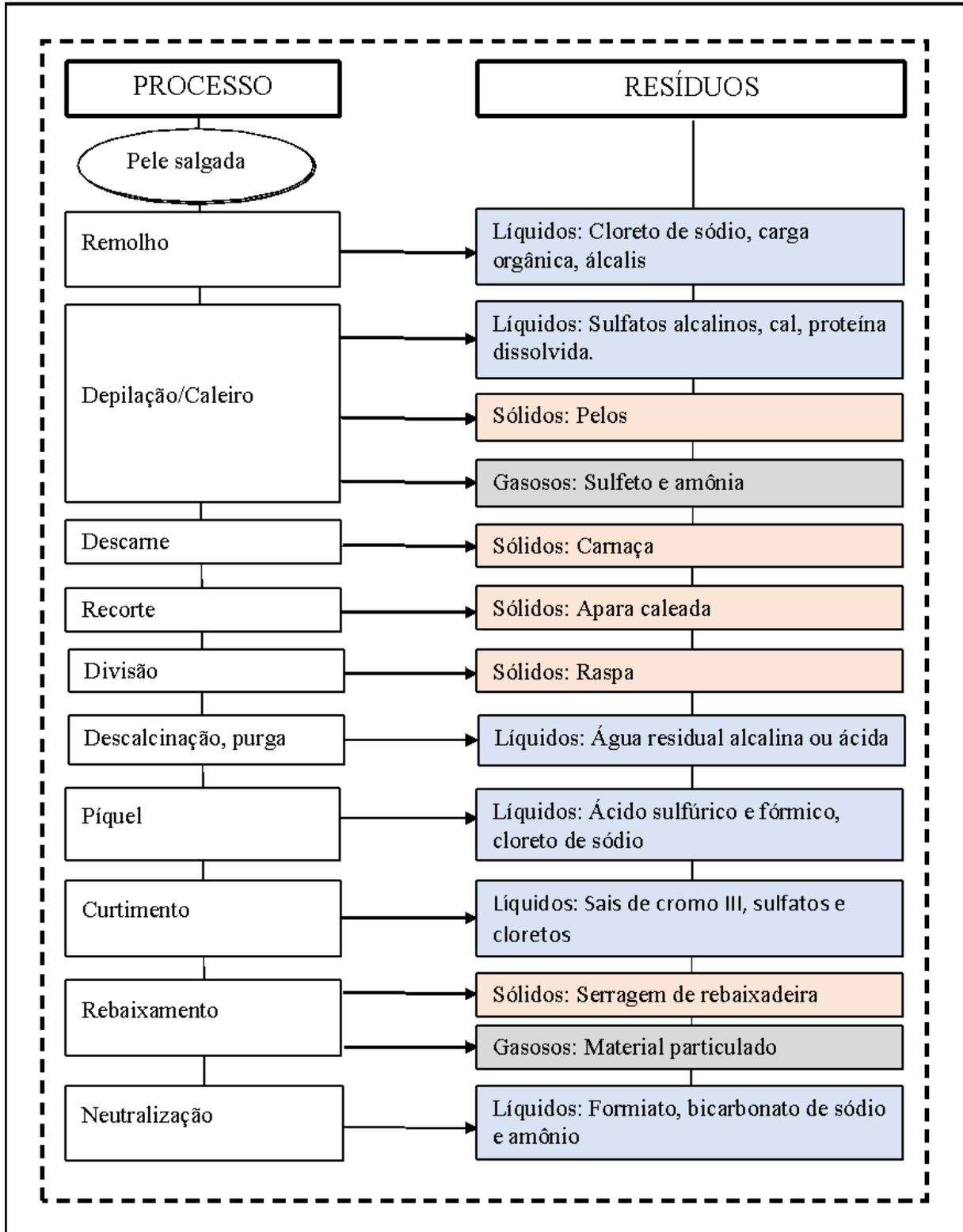
### **3.2 Processo de Tratamento e Curtimento do Couro**

O curtimento consiste em um processo de transformação de peles de animais em um material estável, durável e resistente ao ataque de microrganismos. Somente após esse processo, o material recebe o nome de couro. O curtimento vegetal emprega a utilização de taninos contidos em extratos vegetais. O curtimento por este método apresenta elevado custo (PERALTA, 2014). O curtimento sintético é realizado utilizando resinas e taninos sintéticos, este método proporciona um curtimento mais uniforme e aumenta a penetração de outros curtentes, proporcionando um melhor tingimento (PERALTA, 2014).

O curtimento por agentes minerais, tais como sulfato básico de cromo, alumínio, zircônio, ou agentes orgânicos, confere maior estabilidade na pele por intempéries, ataque enzimático, fadiga termomecânica, maior resistência ao calor e ao desgaste, maior permeabilidade e leveza, além de impedir a putrefação e ser relativamente mais rápido que o mineral. (RAO et al, 2002; OTHMER,2002; GERHARTZ, 1985).

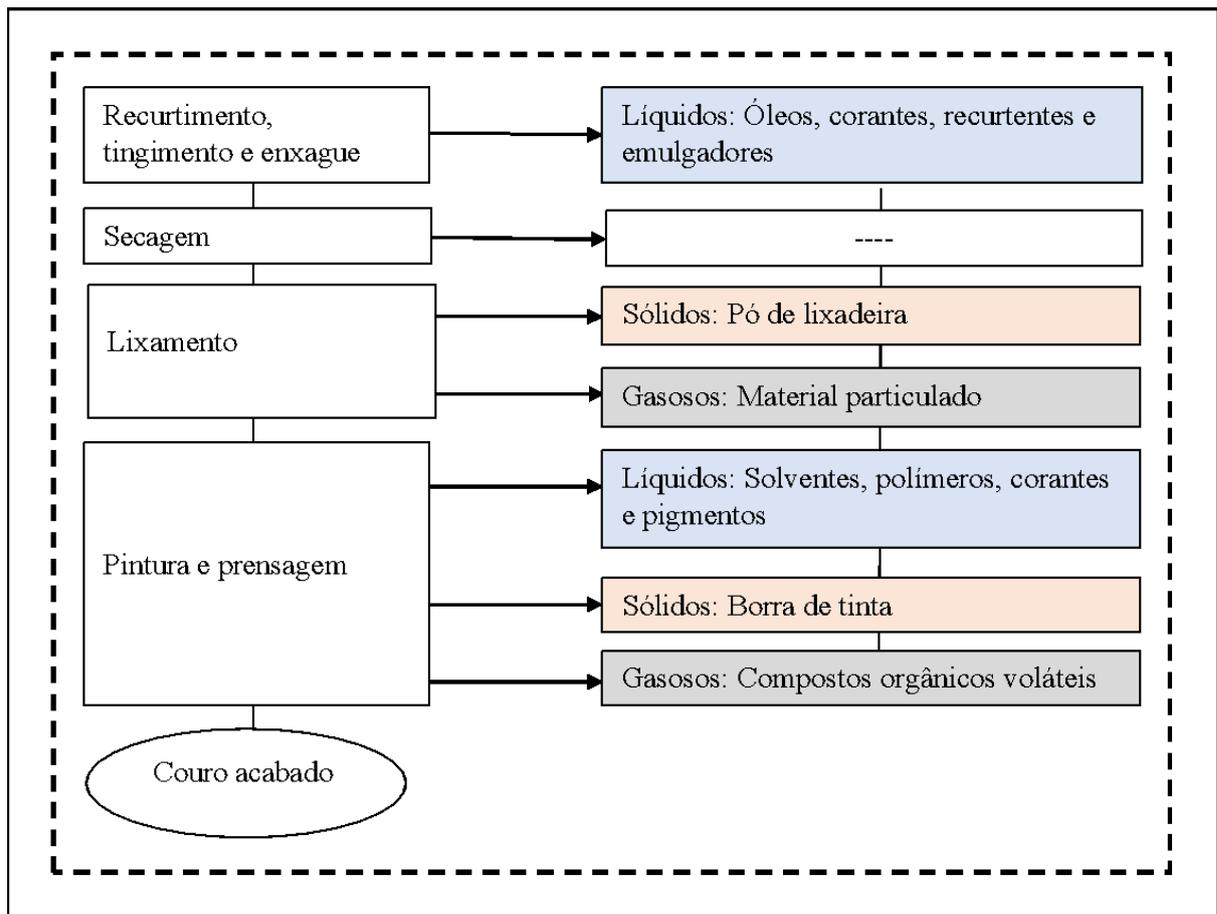
O processamento da pele na indústria até o produto o couro, envolve uma série de estágios, estes e os seus principais despejos são apresentados na Figura 1 e 2.

Figura 1 - Fluxograma usual de curtimento do couro bovino ao cromo (1)



Fonte: Adaptado de Guia Técnico do Setor de Curtumes (2018).

Figura 2 - Fluxograma usual de curtimento do couro bovino ao cromo (2)



Fonte: Adaptado de Guia Técnico do Setor de Curtumes (2018).

A preparação da pele inicia-se com a esfola, onde as peles são submetidas a salmoura e salga a qual proporciona a desidratação e eliminação das proteínas solúveis (BRAILE, 1979). O remolho objetiva-se a restaurar a água dos couros, devolvendo assim umidade das peles e a eliminação de impurezas, facilitando seu descarne. Posteriormente, duas etapas ocorrem simultaneamente, o caleiro e depilação, onde são retirados os pelos da epiderme, utilizado sulfeto de sódio e cal, proporcionando inchamento da pele e a saponificação das gorduras para o preparo das fibras para serem curtidas. Em paralelo, ocorre também uma limpeza do colágeno da derme com a quebra de proteínas indesejáveis e saponificação de ácidos graxos.

Posteriormente, ocorre o processo de descarne, operação responsável pela remoção da camada inferior da pele, a hipoderme, constituída por tecido adiposo, tecido muscular, nervos e vasos sanguíneos (HOINACKI, 1989; FEAM, 2018). Após é realizada a preparação da pele inchada por lavagens para remover a forte alcalinidade.

De acordo com Abreu (2006) o processo de curtimento inicia-se com a piquelagem.

A etapa de piquelagem consiste na acidificação da pele para evitar o inchamento e precipitar os sais de cromo, utilizando sulfato básico de cromo Cr

(OH)SO<sub>4</sub> que ioniza-se formando um complexo que penetra na pele a um pH inferior a 3,0. Ocorre a fixação do cromo na proteína da pele pela reação com os grupos carboxílicos livres dos aminoácidos das proteínas. O couro absorve sais de cromo na proporção de 3 a 7% do seu peso. Após, com o aumento do pH para 3,5 – 4,0 ocorre a remoção do hidrogênio do complexo, formando uma estrutura estável. A correção do pH é realizada com bórax que fixa o sal de cromo nas fibras do couro. (SUNDAR, 2002; BRAILLE, 1979; SHREVE, 1977; THORSTENSEN, 1969; SURESH, 2001).

O processo de curtimento mineral necessita de elevadas quantidades de cromo trivalente, o qual gera um volume de lodos consideravelmente elevado, gerando assim alto valor agregado para na sua destinação em locais apropriados (ABREU, 2006).

### 3.3 Toxicidade do Cromo

Os resíduos produzidos na indústria de curtume apresentam grande potencial de degradação e contaminação para a população e para o meio ambiente. Um dos principais resíduos com maior poder de contaminação sendo gerado atualmente é o lodo de cromo, o qual por conter elevadas concentrações deste composto, traz consigo alguns efeitos deletérios à saúde humana. A toxicidade do cromo está limitada aos compostos hexavalentes, que têm uma ação irritante e corrosiva no corpo humano. A exposição do cromo hexavalente pode ocorrer, geralmente, através da inalação contato com a pele e ingestão, ocasionando “danos renais, alergias, lesões nasais, úlceras gastroduodenais, conjuntivites crônicas, rinofaringes, além de irritação brônquica, asma e câncer pulmonar, causado pela absorção cutânea, inalação, ingestão, ou absorção no trato intestinal” (ABREU, 2006).

Segundo Ellis (2002) o cromo é facilmente encontrado nas águas superficiais, subterrâneas e no solo, pois seu uso está associado às indústrias de galvanoplastia, siderúrgicas, construção e do curtume. O cromo hexavalente difere de outros metais pesados no sentido em que, apesar de ser tóxico para os seres humanos e para um grande número de organismos aquáticos em determinadas concentrações, é rapidamente convertido em cromo (III) e não registra uma acumulação biológica no meio ambiente.

Um dos fatores que contribui para a elevada toxicidade é a grande habilidade que o cromo (VI) apresenta em penetrar nas células, em comparação com o cromo (III). Uma vez dentro das células, o cromo (VI) sofre redução a cromo (III), com a liberação de radicais livres, que podem ser responsáveis por efeitos carcinogênicos (FEAM, 2018).

Sob condições de oxidação, o cromo é altamente solúvel e transforma-se como Cr(VI) na forma de cromato (CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) e bicromato (HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup>). O Cr(VI) sob condições de redução pode ocorrer naturalmente por agentes redutores tais como Fe(II), convertendo-se em Cr(III), o qual

se torna insolúvel, fortemente adsorvido na superfície sólida, e menos tóxico (LOYAUX, 2000).

O cromo pode ser encontrado em diferentes formas, pois é um metal que tem uma forte tolerância a sofrer oxidação podendo formar inúmeros compostos, dependendo do pH e do potencial de oxirredução. Em um pH de 4 a 9 o cromo está presente na forma de íons de cromo Cr(III), o qual é insolúvel em ambientes redutores, e na forma de Cr(VI) em ambientes oxidantes, estes íons são altamente utilizados na indústria de pigmentação, pois apresentam soluções altamente coloridas, apresentando coloração verde e violeta (ABREU, 2006).

O cromo é um metal pesado acumulativo, quando suas concentrações excedem o limite determinado podem causar diversos males à saúde e ao meio ambiente. Seu potencial de contaminação está associado pelas formas como é encontrado, o qual, podem ser convertidas no ambiente como resultado de um processo natural. O estado perigoso do cromo apresenta-se nas formas  $\text{CrO}_3$ ,  $(\text{CrO}_4^{2-})$  e  $(\text{HCrO}_4^-)$ , e seu estado de baixa periculosidade nas formas  $\text{Cr}^0$ , sai de  $\text{Cr}^{+3}$  e  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (MAKDISI, 1992).

O Cr(III) além de ser menos tóxico ao meio ambiente é considerado um nutriente quando utilizado em pequenas proporções. Deste modo, têm sido reconhecido como elemento essencial para a nutrição humana, auxiliando no metabolismo, sendo recomendada uma dose diária de 50 a 200  $\mu\text{g}$  (OTHMER, 1992). Sendo altamente utilizado no processo de salinização e como anticorrosivo (ABREU, 2006).

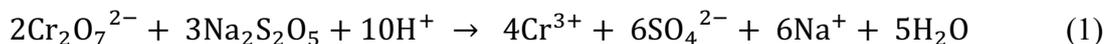
### **3.4 Processo de Redução e Oxidação do Cromo**

Segundo Othmer (1992) o cromo na forma dos ânions Cr(VI) em condições oxidantes é altamente solúvel e apresenta grande mobilidade. Sua forma varia de acordo com o pH o qual apresenta-se na forma de cromato ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) a um pH acima de 8. No entanto, em uma variação de pH entre 2 e 6 apresenta-se nas formas de  $\text{HCrO}_4^-$  e  $\text{CrO}_4^{2-}$ , por fim, quando o pH encontra-se inferior a 1, a principal forma é  $\text{H}_2\text{CrO}_4$ .

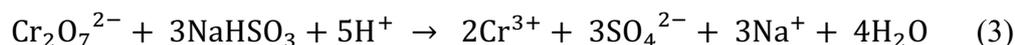
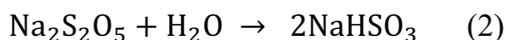
A redução do Cr(VI) faz-se necessário a fim de limitar sua concentração e mobilidade, pois é um constituinte altamente solúvel, tóxico e cancerígeno, o qual é reduzido a Cr(III), considerado um nutriente para as plantas quando em baixas concentrações (BLOWES, 2002).

A redução do Cr(VI) a Cr(III) estável, pode ocorrer segundo Walsh (1996) “sob condições levemente ácidas ou neutras, naturalmente pela ação de alguns tipos de sedimentos, lodos de esgoto, argilas areias, solos contendo materiais carbonosos, ácidos húmicos dissolvidos, matéria orgânica, açúcar, entre outros”.

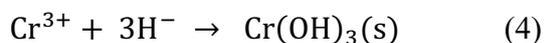
O cromo (VI), na ausência de outros íons metálicos, é solúvel para toda a faixa de pH, por isso, é necessário primeiro reduzi-lo (geralmente em  $\text{pH} < 3$ ) para depois precipitá-lo. As seguintes reações descrevem o processo utilizando metabissulfito como redutor (Gard et al, 1951):



O metabissulfito de sódio, em solução aquosa, transforma em bissulfito, como mostra a equação a seguir, e a equação (3) mostra a reação entre o dicromato de sódio e o bissulfito de sódio (Watson, 1953):



Na etapa de precipitação, utiliza-se como base o hidróxido de sódio (NaOH), ou o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), conforme a reação a seguir. Para se obter uma precipitação efetiva de Cr (III) o pH deve ser controlado entre 8 e 9 (REIS, 2001).



Rock (2001) destaca a possibilidade da utilização de reagentes para a remediação dos resíduos contendo cromo, entre eles o peróxido de hidrogênio, pois afeta a oxidação e solubilidade do Cr(III) e Cr(VI), podendo agir como agente oxidante e como agente redutor.

O cromo hexavalente presente em resíduos de cromo da indústria do curtume pode também ser reduzido por ácidos orgânicos formando complexos estáveis de Cr(III) que também preservam o couro. A presença de elevadas quantidades de resíduos orgânicos, ajudam no processo natural de biodegradação, produzido  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{CH}_3\text{SH}$ , o qual reduz o Cr(VI) a Cr(III). Assim, a presença de matéria orgânica nos resíduos de curtume, é de grande importância na mobilidade do cromo (ABREU, 2006).

O processo de redução química do cromo hexavalente ocorre em estreitas faixas de pH, o qual requer a introdução de aditivos químicos que visam controle da redução e ajuste do pH. O conhecimento sobre a redução do Cr(VI) é de grande importância, pois em caso de contaminação, a fim de especificar uma possível atenuação natural monitora, tem-se uma

remediação mais rápida, além de proporcionar redução com processos de remediação mais complexos (VEAZEY, 2002; FORSTER, 2002).

### **3.5 Tratamento de Resíduos Industriais Perigosos**

O processo de solidificação ou encapsulamento tem sido utilizado como uma alternativa para a disposição e tratamento de resíduos industriais perigosos, tais como, metais pesados, resíduos radioativos, resíduos de lodo de extrações de alumínio e zinco, entre outros. Este processo possui a função de reduzir a área superficial, proporcionando agregação do resíduo à matriz cimentícia, assim impossibilitando a sua lixiviação e sua solubilidade, além de reduzir o nível de toxicidade e minimizar a taxa de migração de contaminantes para o meio ambiente (BASEGIO, 2002; BARRETO, 2004; AMARAL, 2001).

Barreto (2016), descreve que a solidificação é considerada um processo de tratamento, e neste sentido, entre os resíduos que vem sendo estudados para inserção neste processo encontram-se o uso de lodos, como o lodo de cromo, pois apresenta alto nível de toxicidade. O processo busca a estabilização do resíduo em cimento (BARRETO, 2016), água e argilas (OLIVEIRA, 2008), de modo que quando solidificado tem-se um bloco rígido (BASEGIO et al. 2002, PINTO, 2005).

Segundo Abreu (2006) a eficiência do processo de solidificação depende da permeabilidade e durabilidade do produto solidificado, pois os compostos presentes no resíduo podem interferir com as reações de agregação na fabricação das amostras, gerando problemas de resistência e durabilidade.

No processo de solidificação tem-se empregado a utilização do cimento Portland, segundo Pinto (2005), este tipo específico de cimento apresenta uma performance superior de agregação nas partículas quando comparada a outros reagentes.

O lodo de cromo quando inserido na fabricação das amostras deve apresentar baixo teor de substâncias orgânicas, pois estas podem interferir nas reações de hidratação do cimento, tornando menos resistente e agregante. Visando solucionar este problema tem-se estudado agentes fixadores com “silicatos solúveis de sódio ou de potássio, emulsificantes e surfactantes, carbono, adsorventes celulósicos que capturam os constituintes tóxicos que são encapsuladas com o resíduo” (PINTO, 2005).

A indústria de curtimento do Brasil é um dos grandes setores geradores de resíduos. O problema não consiste somente no volume de aparas e retalhos provenientes do processo de curtição, o risco está associado no potencial poluidor de substâncias usadas no processamento

do couro. São vários os compostos presentes nos efluentes líquidos de curtumes, desde matéria orgânica (do material biológico das peles como proteínas, sangue, fibras musculares) até substâncias tóxicas ou potencialmente tóxicas tais como: sais de cromo, sulfeto de sódio e amônia (FEAM, 2018).

A geração de resíduos sólidos nos empreendimentos coureiros é bastante significativa, tanto pela quantidade gerada como pela complexidade exigida para seu correto gerenciamento, pois engloba a gestão de resíduos sólidos Classe I (resíduos perigosos) e Classe II (resíduos não perigosos). O resíduo de cromo gerado no processamento do couro é classificado pela NBR 10.004/2004 como Classe I – Perigoso, podendo apresentar riscos à saúde pública, favorecendo a incidência de doenças, mortalidade e riscos ao meio ambiente, quando manuseados ou destinados de forma incorreta (ALVES, 2008).

Segundo a NBR 10.004/2004 no meio sólido (extrato lixiviado) não pode exceder 5 mg/L do cromo total, no solo o seu limite é de 100 mg/Kg de Cr(VI). A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece os limites quando a cromo disposta em água, sendo 0,50 mg/L Cr(III) e 0,05 mg/L Cr(VI).

### **3.6 Blocos de Alvenaria**

A utilização de blocos de alvenaria vem sendo empregado pelo homem desde a década de 1940 (SANDES, 2008). Segundo Manzione (2004), os blocos de concreto são elementos vibro prensados e constituídos de uma mistura de cimento Portland, agregados e água. A primeira norma específica de blocos de concreto foi desenvolvida em 1982, sendo a ABNT NBR 7173:1982 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural (TAUIL, 1998).

Atualmente encontra-se uma gama de diversos tipos blocos no mercado, seja ele fabricados com diferentes materiais como solo-cimento, gesso ou para uma função específica, como estrutural (ALMEIDA, 2017).

Os blocos de concreto possuem todas as características técnicas dentro das normas da ABNT, garantindo assim uma elevada qualidade da alvenaria que tem como vantagens permitir a passagem de tubulação, menor espessura de revestimento, elevada precisão, variedade de cores, facilidade de modulação, menor desperdício e operações mais racionais, resultando na redução do custo final da obra (JARFEL, 2021).

O sistema construtivo que utiliza blocos de concreto pode ser empregado em obras de alvenaria estrutural ou apenas em paredes de vedação (JARFEL, 2021). A diferença presente

entre estes dois tipos é que os blocos estruturais apresentam paredes mais espessas, assim com maior resistência à compressão.

Segundo a ABNT NBR 6136:2016, no que diz respeito à forma dos blocos, eles podem ser maciços (Figura 3) ou vazados (Figura 4). Os blocos vazados com ou sem função estrutural, deve ser vazado nas duas faces, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta.

- Área líquida: Área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontadas as áreas máximas dos vazios;
- Área bruta: Área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios.

Figura 3 - Bloco maciço de concreto simples



Fonte: MILLATO (2021).

Figura 4 - Bloco vazado de concreto simples



Fonte: MILLATO (2021).

Os blocos vazados de concreto devem atender, quanto ao seu uso, às seguintes classes (ABNT NBR 6136:2016):

- Classe A  $\geq 8,0$  MPa, com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo.
- Classe B  $\geq 4,0$  MPa, com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.
- Classe C  $\geq 3,00$  MPa, com ou sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

Os blocos vazados de concreto devem atender às dimensões padronizados disponível na NBR6136/2016 (Tabela 1). A espessura mínima de qualquer parede de bloco deve atender à Tabela 2. A tolerância permitida nas dimensões das paredes é de 1,0 mm para cada valor individual.

Tabela 1 - Dimensões reais

Famílias de blocos											
Família	20x40	15x40	15x30	12,5x40	12,5x25	12,5x37,5	10x40	10x30	10x30	7,5x40	
Largura (mm)	190	140	140	115	115	115	90	90	90	65	
Altura (mm)	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
Comprimento (mm)	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	190	290	390
	Meio	190	190	140	190	115	-	190	90	-	190
	2/3	-	-	-	-	-	240	-	-	190	-
	1/3	-	-	-	-	-	115	-	-	90	-
	Amarração L	-	340	-	-	-	-	-	-	-	-
	Amarração T	-	540	440	-	365	365	-	290	290	-
	Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	-	90
Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	-	40	

NOTA: As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados na tabela 1 são de  $\pm 2,0$  mm para a largura e  $\pm 3,0$  mm para a altura e para o comprimento. Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com as ABNT NBR 5706 e ABNT NBR 5726.

Fonte: ABNT NBR 6136/2016.

Tabela 2 - Designação por classe, largura e espessura mínima dos blocos

Classe	Largura nominal mm	Paredes longitudinais <sup>1)</sup> mm	Paredes transversais	
			Paredes <sup>1)</sup> mm	Espessura equivalente <sup>2)</sup> mm
A	190	25	25	188
	140	32	25	188
B	190	25	25	188
	140	32	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

<sup>1)</sup> Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.  
<sup>2)</sup> Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Fonte: ABNT NBR 6136/2016.

Para ficar mais claro e amplo as normativas vigentes para a fabricação e avaliação dos blocos de concreto podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Documentos Normativos

Produto	Documentos normativos
Blocos de concreto para alvenaria estrutural	<b>ABNT NBR 6136:2016</b> – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos <b>Objetivo:</b> estabelece os requisitos para produção e aceitação de blocos vazados de concreto simples, destinados à execução de alvenaria com ou sem função estrutural.
	<b>ABNT NBR 12118:2013</b> – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. <b>Objetivo:</b> especifica métodos de ensaio para análise dimensional e determinação da absorção de água, da área líquida, da resistência à compressão e da retração por secagem.
	<b>ABNT NBR 15961-1:2011</b> – Alvenaria estrutural — Blocos de concreto. Parte 1: Projeto. <b>Objetivo:</b> especifica os requisitos mínimos exigíveis para o projeto de estruturas de alvenaria de blocos de concreto.
	<b>ABNT NBR 15961-2:2011</b> – Alvenaria estrutural — Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras. <b>Objetivo:</b> estabelece os requisitos mínimos exigíveis para a execução e o controle de obras com estruturas de alvenaria de blocos de concreto

Fonte: Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais (2014).

Dentre estas normas duas estabelecem as condições para aceitação desses blocos de concreto, respectivamente a NBR 6136:2016 e NBR 12118: 2013. Os requisitos para avaliação dos blocos exigidos pela NBR 6136/2016, são:

- Dimensões (largura, altura, comprimento, espessura mínima e raio das mísulas);
- Resistência à compressão;
- Absorção de água;
- Retração linear por secagem.

### **3.7 Concreto: Materiais e seus Componentes Básicos**

O termo concreto pode ser definido como qualquer produto produzido através de um meio cimentante, sendo fruto da reação do cimento Portland, água e seus agregados (BRESOLIN, 2016). O uso do concreto atualmente é tão usual devido a sua resistência com a água, diferente do aço e da madeira, o concreto pouco se deteriora em contato com a mesma, sendo assim, um material ideal para construções que fazem ou necessitam realizar o armazenamento ou o transporte de água, dentre outros produtos. Hoje seu uso é mais amplo, como em estacas, fundações, pilares, vigas e lajes, onde os mesmos estão diariamente em contato com a umidade. Outro motivo é sua plasticidade, que permite construções das formas mais variadas possíveis e além do seu baixo custo, justificado pela fácil obtenção de seus componentes (BRESOLIN, 2016).

As características do concreto são obtidas em função dos aspectos e proporções dos materiais que o compõem. A proporção adequada dos materiais utilizados resultará em um concreto estável, sem trinca, ou fissuras (MACHADO, 2012).

Para Giongo (2007), os componentes básicos são os agregados (grãos e miúdos) cimento e água, gerando um composto chamado de concreto simples. Para a NBR 6118/2003, concreto simples não possui nenhum tipo de armadura ou que a possui em menor quantidade à mínima exigida para o concreto armado. O concreto avaliado neste trabalho será composto por cimento Portland, pedrisco, pó de pedra, areia e água (BRESOLIN, 2016).

#### **3.7.1 Cimento**

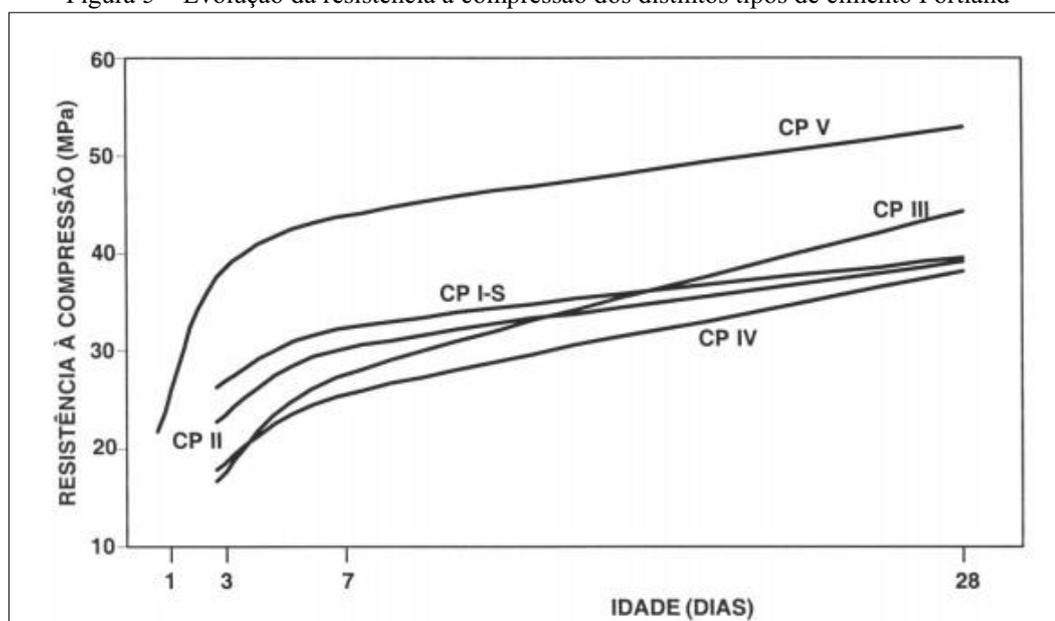
Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), o cimento portland é a denominação convencional mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como cimento. O Cimento Portland é um pó fino com propriedades

aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido a água, o Cimento Portland não se decompõe mais (ACCP, 2002).

Os cimentos são substâncias capazes de unir materiais sólidos em um único corpo mais compacto e resistente, este é composto de clínquer e de adições. O clínquer é o principal componente e está presente em todos os tipos de Cimento Portland. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento (ABCP, 2002).

O Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI) tem a peculiaridade de atingir altas resistências nos primeiros dias da aplicação, sua alta resistência inicial é conseguido por uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade, podendo atingir 26 MPa de resistência à compressão em apenas 1 dia de idade. O cimento continua ganhando resistência até os 28 dias, atingindo valores mais elevados que os demais, proporcionando maior rendimento ao concreto, conforme pode ser visualizado na Figura 5 (Cimento.Org, 2010).

Figura 5 – Evolução da resistência a compressão dos distintos tipos de cimento Portland



Fonte: ABCP (2002).

Além disso os cimentos Portland, oferecem resistência aos meios agressivamente surfactantes, tais como os encontrados nas redes de esgotos de águas servidas ou industriais, na água do mar e em alguns tipos de solos. De acordo com a norma NBR 5737/1991, quaisquer

um dos cinco tipos básicos (CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI) podem ser considerados resistentes aos sulfatos (ABCP, 2002).

A ABNT NBR 6136/2016 especifica que o concreto deve ser constituído de cimento Portland, agregados e água e que somente cimentos que obedecem às especificações brasileiras para cimento, destinados à preparação de concretos e argamassas, são considerados na elaboração de blocos de concreto.

### 3.7.2 Agregados

Segundo a ABNT NBR 7211 (2005), os agregados podem ser de origem natural, já encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas, os quais devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

Segundo Bastos (2006), os agregados também podem ser de origem natural, o qual considera encontrados na natureza como as areias e os pedregulhos, ou de origem artificial, os quais passaram por processos de aperfeiçoamento, como a pedra britada, resultado da moagem de pedras maiores (BRESOLIN, 2016).

A norma ABNT NBR 7211 (2005), destaca ainda sobre a granulometria dos agregados mudos e graúdos. Os agregados miúdos são determinados segundo a ABNT NBR NM 248/2003 (Tabela 4), os quais podem ser utilizados em concretos com distribuição granulométrica em diferentes zonas, desde que estudos prévios de dosagem comprovem sua aplicabilidade.

Tabela 4 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTAS  
 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.  
 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.  
 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT NBR 7211/2005.

Segundo Bastos (2006), os agregados miúdos podem ser considerados o que possui diâmetro inferior ou igual a 4,8 mm. Quanto aos agregados de areia (considerado agregado miúdo) utilizados usualmente a NBR 7225/1993 divide as em três grupos, sendo eles: as finas, médias e grossas, conforme a Tabela 6.

Tabela 5 - Classificação das areias

Tipo de Areia	Tamanho nominal (mm)	
	Mínimo	Máximo
Grossa	1,2	2
Média	0,42	1,2
Fina	0,075	0,42

Fonte: Adaptado da NBR 7225/1993.

A areia é um dos materiais que compõem determinada fração do meio cimentante, sendo considerada como um material inerte, o qual não reage quimicamente com o cimento, água e outros compostos presentes, assim auxiliando na perda de umidade, além da redução de trincas, rachaduras e espaços vazios, os quais diminuem a resistência do meio.

O pó de pedra (considerado agregado miúdo) é um material resultante do britamento de pedra de gnaiss, onde sua faixa granulométrica varia entre 0 à 5 mm, podendo ser caracterizado como sendo "areia grossa". É muito usado nas usinas de asfalto, na fabricação de pré-moldados, na confecção de argamassa para assentamento e emboço e como estabilizador do solo (SOLUÇÕES INDUSTRIAIS, 2021).

Quanto ao agregado graúdo, a distribuição granulométrica também é determinada segundo a ABNT NBR NM 248/2003, devendo atender aos limites indicados na Tabela 5. O agregado graúdo, em geral, é utilizado na composição de duas ou mais graduações.

Tabela 6 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D <sup>1)</sup>				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 <sup>2)</sup>	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 <sup>2)</sup>	65 <sup>2)</sup> – 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 <sup>2)</sup> – 65 <sup>2)</sup>	92 – 100	-	-
9,5 mm	2 – 15 <sup>2)</sup>	80 <sup>2)</sup> – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 <sup>2)</sup> – 65 <sup>2)</sup>	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 <sup>2)</sup> – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 – 100	-	-	-	-

<sup>1)</sup> Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.  
<sup>2)</sup> Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: ABNT NBR 7211/2005.

Segundo Bastos (2006), os agregados graúdos os que possuem diâmetro superiores correspondentes. No Brasil, a classificação das britas (considerado agregado graúdo) comercialmente em graduações vão da brita zero (B0) até a brita quatro (B4) conforme a Tabela 7. Além da função estrutural a utilização de brita no meio cimentante contribui para o aumento da resistência a compressão e ao desgaste (abrasão), além de diminuir custos da produção do concreto, por ser considerado um material de baixo custo (MACHADO, 2012).

Tabela 7 - Classificação comercial de britas

Classificação Comercial das Britas	Tamanho nominal (mm)	
	Mínimo	Máximo
BRITA 0 (Pedrisco)	4,8	9,5
BRITA 1	9,5	19
BRITA 2	19	25
BRITA 3	25	38
BRITA 4	38	76

Fonte: ABCP (2002).

A determinação da quantidade de agregados miúdos e graúdos na fabricação dos corpos de prova influencia diretamente na resistência dos corpos, pois segundo Aïtcin (1998), o agregado graúdo com partículas menores é, geralmente, mais resistente, pois o processo realizado para reduzir o tamanho do agregado elimina defeitos, tais como poros grandes, microfissuras e inclusões de minerais moles, tornando assim o bloco com maior resistência à compressão.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Caracterização da Área Experimental**

O presente trabalho foi desenvolvido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), localizada na Linha Santa Bárbara, pertencente ao município de Francisco Beltrão - Paraná, para os testes e absorção de água e inspeção visual obtido após o período de maturação. Os ensaios de compressão dos corpos de prova, foram realizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco.

### **4.2 Coleta da Amostra**

O resíduo de lodo de cromo utilizado foi cedido por uma indústria de curtume, localizada no norte do estado do Paraná. A indústria Bombonato Indústria e Comércio de Couros LTDA foi fundada no ano de 2000, diante da necessidade de fabricação de couros de alta performance, para o setor de segurança no trabalho. A empresa destina todo o seu efluente químico gerado pelo processo industrial, para a Estação de Tratamento de Efluentes, nesta todos os resíduos passam por um rigoroso e controlado método de tratamento, deixando-os em condições adequadas para seu destino final. A empresa conta com um dispositivo de monitoramento e de controle de qualidade do efluente tratado e do corpo hídrico receptor (BOMBONATTO COUROS, 2019).

Todo o resíduo de lodo de cromo gerado na empresa passa por um processo de secagem (prensagem) para a redução da umidade, sendo posteriormente encaminhado para um aterro industrial. Para a realização do trabalho foram coletados cerca de 30 kg do resíduo (Figuras 6, 7 e 8), seguindo os métodos de amostragem da NBR 10.007/2004.

Figura 6 - Amostra de lodo de cromo (1)



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 7 - Amostra de lodo de cromo (2)



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 8 - Amostra de lodo de cromo (3)



Fonte: Autoria própria (2021).

### 4.3 Caracterização do Lodo de Cromo

A classificação do resíduo tem base na Norma NBR/ABNT 10.004/2004 – Resíduos Sólidos, sendo complementada pelas Normas NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento; NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimento, NBR 10.006/2004 – Solubilização de Resíduos – Procedimento.

Foram realizados os ensaios de lixiviação e solubilização. O ensaio de solubilização visa à adequação dos resíduos pela Organização Mundial de Saúde, complementados pelo Padrão brasileiro de Potabilidade da Água, Portaria N. 518/ ANVISA de 25 de março de 2004, atualmente substituída pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017.

O lodo prensado proveniente do processo de curtimento passou pela caracterização físico-química realizada pela empresa TECLAB (Tecnologia em Análises Ambientais), quanto ao extrato solubilizado, massa bruta, extrato lixiviado, patogenicidade para massa bruta, ecotoxicidade para o extrato solubilizado.

Vale ressaltar que as análises foram feitas a pedido da empresa Bombonato Indústria e Comércio de Couros LTDA, e o resultado destas foi cedido para o referido trabalho.

#### 4.4 Secagem do Lodo de Cromo

O lodo obtido na coleta, passou por remoção e determinação da umidade, sendo exposto a uma temperatura de 105 °C no período de 24 horas. Após este período o material foi mantido em temperatura ambiente e pesado. O teor de água foi obtido pela diferença de massa, sendo resultado da média aritmética das amostras. O teor de água é determinado utilizando a Equação 5:

$$U(\%) = \frac{Mu - Ms}{Mu} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

U = Teor de água (%)

Mu = Material úmido (g)

Ms = Material seco (g)

Além das amostras necessárias para a determinação da umidade, todo o lodo a ser utilizado para a fabricação dos corpos de provas passaram por remoção de umidade, como demonstra nas Figuras 9 e 10, assim obtendo um material menos reagente a outras substâncias, presente na matriz cimentícia.

Figura 9 - Remoção da umidade das amostras de lodo de cromo (1)



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 10 - Remoção da umidade das amostras de lodo de cromo (2)



Fonte: Autoria própria (2021).

Após a remoção de umidade o resíduo foi triturado com um moinho analítico (Figuras 11 e 12), para que assim sua remoção da matéria orgânica acontecesse mais uniformemente e para que na fabricação dos corpos de prova não houvesse possível alteração na sua resistência.

Figura 11 - Moinho analítico (1)



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 12 - Moinho analítico (2)



Fonte: Autoria própria (2021).

Para a realização da determinação dos sólidos voláteis (SV), foram utilizados dois cadinhos de porcelana e duas alíquotas de aproximadamente 2 gramas de cada amostra triturada do material que passou pelo processo de determinação do teor de água. O material pesado foi calcinado em mufla, a 550 °C ( $\pm 20$  °C) por duas horas, após este período, os cadinhos foram resfriados e pesados novamente. O teor de sólidos voláteis é obtido pela diferença de massa, sendo o resultado considerado a média aritmética das duas determinações. O teor de sólidos fixos (SF) é determinado utilizando-se a Equação 6.

$$SF = 100\% - SV \quad (6)$$

Posteriormente, o lodo passou por um processo peneiramento (Figuras 13 14 e 15), com a peneira de 1,00 mm/ $\mu$ m de abertura de malha, obtendo assim, um material com granulometria uniforme a ser utilizado na produção dos corpos de provas. O agregado miúdo cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu$ m, assim contendo uma granulometria adequada para sua inserção em matriz cimentícia segundo a ABNT NBR 7211/ 2005.

Figura 13 – Peneira com abertura de 1,00 mm/ $\mu\text{m}$



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 14 - Amostra sendo peneirada



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 15 - Amostra após a remoção de sólidos voláteis



Fonte: Autoria própria (2021).

O material seco após a queima dos materiais voláteis foi agregado à matriz cimentícia que substituirá uma fração do cimento. Os corpos de prova foram fabricados com cimento, areia fina, areia média, pedrisco, pó de pedra, água e lodo de cromo.

#### 4.5 Elaboração dos Corpos de Prova

Os corpos-de-prova foram elaborados segundo a NBR 5738/2015, a qual determina as dimensões para a produção dos mesmos (ABNT, 2015). Os moldes cilíndricos deverão conter altura igual ao dobro do diâmetro. O diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. As medidas diamétricas têm tolerância de 1 % e a altura, 2 %. Os planos das bordas circulares extremas do molde devem ser perpendiculares ao eixo longitudinal do molde. Os moldes utilizados no trabalho são de PVC contendo 10 cm de diâmetro por 20 de altura conforme observados nas Figuras 16, 17 e 18.

Figura 16 - Moldes cilíndricos de PVC 10x20 (1)



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 17 - Moldes cilíndricos de PVC 10x20 (2)



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 18 - Moldes cilíndricos de PVC 10x20 (3)



Fonte: Autoria própria (2021).

Antes de proceder à moldagem dos corpos de prova, os moldes e suas bases foram revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral que não reage com o cimento. A superfície de apoio dos moldes deve ser rígida, horizontal, livre de vibrações e outras perturbações que possam modificar a forma e as propriedades do concreto dos corpos de prova durante sua moldagem, segundo a NBR 5738/2015 (ABNT, 2015).

Para a fabricação dos corpos foram utilizadas areia fina e média, a qual foi realizado uma mistura destas, brita 0 (pedrisco), pó de pedra (areia 3), água, cimento Portland V - ARI e lodo de cromo. Os materiais necessários foram uma betoneira, balança digital (Figuras 19, 20 e 21).

Figura 19 - Materiais utilizados



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 20 - Cimento Portland



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 21 - Betoneira



Fonte: Autoria própria (2021).

Os corpos de prova foram fabricados em quatro tipos de tratamentos, sendo elas:

T1: Sem adição de lodo de cromo;

T2: Com adição de 5% de lodo de cromo no total de cimento;

T3: Com adição de 10% de lodo de cromo no total de cimento;

T4: Com adição de 15% de lodo de cromo no total de cimento.

O traço escolhido foi 1:3 em unidade de volume, seguindo instruções de pesquisadores na área, sendo este 1kg de cimento Portland V para 3 kg dos outros materiais. As proporções de cada material a ser utilizados são observadas na Tabela 8:

Tabela 8 - Composição dos corpos de provas a serem confeccionados

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
Areia fina e média (kg)	9	9	9	9
Pó de Pedra(kg)	9	9	9	9
Lodo de cromo (kg)	-	0,150	0,300	0,450
Cimento Portland CB5(kg)	3	2,85	2,7	2,55
Pedrisco (kg)	9	9	9	9

Fonte: Autoria Própria (2021).

Em cada traço, incluindo o corpo de prova em branco (sem resíduo), a NBR 9781/2013 recomenda que sejam realizadas 6 repetições para o ensaio de compressão e 3 para o ensaio de absorção de água e 6 para o ensaio de inspeção visual. Deste modo, foram fabricadas 36 amostras para os ensaios, sendo que os corpos de inspeção visual e compressão serão os mesmos, pois primeiro será avaliado seu aspecto com a inspeção visual e posteriormente será realizado a análise de compressão, as quais estão descritas na Tabela 9 (ABNT, 2013).

Tabela 9 - Número de amostras a serem fabricadas e respectivas análises

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>Legislação</b>
Compressão com 28 dias	6	6	6	6	Classe A $\geq$ 8,0 MPa Classe B $\geq$ 4,0 MPa Classe C $\geq$ 3,0 MPa
Absorção de água	3	3	3	3	$\leq$ 10%
Inspeção visual *	6	6	6	6	-
<b>TOTAL</b>	9	9	9	9	

Fonte: Autoria própria (2021).

\* As amostras do ensaio de inspeção visual foram também utilizadas para o ensaio de compressão com 28 dias.

Os corpos de prova foram desformados e identificados após 24h e cobertos de areia num total de 28 dias (Figura 24), que corresponde ao tempo de cura, para que assim possa ser realizado o ensaio de compressão dos elementos. No período destes 28 a areia sempre se manteve úmida, auxiliando no processo de cura.

Figura 22 - Corpos de prova no período de cura de 28 dias



Fonte: A autoria própria (2021).

#### 4.7 Teste de Resistência à Compressão

Os testes de compressão dos corpos de prova foram realizados seguindo as recomendações da NBR 5739/2003 e NBR 7680-1/2015, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco. Foram utilizados os corpos de prova de 28 dias, após o tempo de cura, com seis amostras de cada proporção. As amostras deveriam ser saturadas em água a  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , por no mínimo 24 h antes do ensaio, porém tiveram que ser entregues ao laboratório 4 dias antes do término da cura, para a retificação de suas bases, assim não sendo realizado a saturação (ABNT, 2003; ABNT 2015).

Os blocos vazados de concreto para alvenaria devem obter resistência mínima conforme a ABNT NBR 6136/2016, a qual estabelece as resistências para as classes A, B e C. O não atendimento à resistência especificada em projeto pode resultar em desabamentos, trincas e comprometimento da estrutura da obra (Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais, 2014).

#### 4.8 Teste de Inspeção Visual

As peças de concreto constituintes de cada lote foram inspecionadas visualmente, objetivando a identificação de peças com defeitos que possam prejudicar o assentamento, o desempenho estrutural ou a estética do bloco. Foram inspecionadas 6 amostras de cada traçado, seguindo as instruções da normativa ABNT NBR 6136:2016, quanto aos seus defeitos e imperfeições.

#### 4.9 Análise de Absorção de Água

A análise ocorreu decorrer conforme orientações descritas na NBR 3459/1991 (ABNT, 1991). Inicialmente as amostras foram imergidas em água à temperatura de  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , por 24 horas. Posteriormente cada corpo de prova foi pesado individualmente na condição saturada com superfície seca, que é obtida drenando o corpo de prova sobre uma tela metálica por 1 minuto e removendo a água superficial visível com um pano úmido, anotando-se então a sua massa saturada ( $m_2$ ).

Posteriormente os corpos de prova saturados foram levados à estufa com temperatura de  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , mantendo esta condição por 24 horas, anotando então a sua massa seca ( $m_1$ ).

O valor da absorção de água de cada corpo de prova será calculado utilizando-se a Equação 3:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

A = Absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

$m_1$  = Massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

$m_2$  = Massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

## **5 RESULTADOS**

### **5.1 Caracterização do Lodo**

A caracterização do resíduo foi realizada pela empresa TECLAB – Tecnologia em Análises Laboratoriais, solicitado pela empresa Bombonato Indústria e Comércio de Couros LTDA, e cedido para a realização do referido trabalho.

#### **5.1.1 Lixiviação**

O ensaio de lixiviação de acordo com a NBR 10005/2004 consiste no processo para a determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, através de dissolução no meio extrator.

O procedimento foi realizado de acordo com a Norma NBR 10.005 – Lixiviação de Resíduos – Procedimento e os ensaios de acordo com Standard Methods. Os resultados do extrato lixiviado pode ser visualizado na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados para o extrato lixiviado do resíduo de lodo de cromo

RESULTADOS PARA O EXTRATO LIXIVIADO						
Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
Arsênio	< 0,10	± 8,2%	mg As.L <sup>-1</sup>	0,1	1	SM 3111
Bário	< 1,0	± 6,0%	mg Ba.L <sup>-1</sup>	1	70	SM 3500-Ba
Cádmio	0,01	± 0,93%	mg Cd.L <sup>-1</sup>	0,005	0,5	SM 3500-Cd
Chumbo	< 0,005	± 2,5%	mg Pb.L <sup>-1</sup>	0,005	1	SM 3500-Pb
Cromo	< 0,10	± 1,0%	mg Cr.L <sup>-1</sup>	0,1	5	SM 3500-Cr
Cromo Hexavalente	< 0,10	± 1,0%	mg Cr.L <sup>-1</sup>	0,1	-	SM 3500-Cr
Prata	< 0,005	± 0,93%	mg Ag.L <sup>-1</sup>	0,005	5	SM 3500-Ag
Mercúrio	< 0,001	± 10%	mg Hg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,01	SM 3111
Selênio	< 0,05	± 6,4%	mg Se.L <sup>-1</sup>	0,05	1	SM 3111
Fluoretos	2,44	± 4,9%	mg F.L <sup>-1</sup>	0,1	150	SM 4500-F /D
Cianeto	< 0,01	± 1,2%	mg CN.L <sup>-1</sup>	0,01	-	SM 4500-CN /E
Óleos e Graxas Totais	9,8	± 1,2%	mg.L <sup>-1</sup>	5	-	SM 2540/C
Fenol	0,17	± 0,38%	mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH.L <sup>-1</sup>	0,01	-	SM 6420
Benzeno	< 0,01	± 0,31 µg <sup>-1</sup> .L	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,5	EPA 3890
Benzo(a)pireno	< 0,01	± 8,1%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,07	EPA 8100
Cloreto de Vinila	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,5	EPA 624
Clorobenzeno	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	100	EPA 624
Clorofórmio	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	6	EPA 624
1,4 Diclorobenzeno	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	7,5	EPA 624
1,2 Dicloroetano	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	1	EPA 624
Tetracloroeto de Carbono	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,2	EPA 624
2,4,5 Triclorofenol	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	400	EPA 624
2,4,6 Triclorofeno	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	40	EPA 624
Cresol	< 0,01	± 3,0%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	200	EPA 624
Hexaclorobenzeno	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	0,1	SM 6630
Metiletilcetona	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	200	SM 6630
Tetracloroetileno	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	4	SM 6630
Tricloroetileno	< 0,01	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,01	7	SM 6630
Aldrin + Dieldrin	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,003	SM 6630
Clordano	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,02	SM 6630
DDT+DDD+DDE	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,2	SM 6630
2,4 D	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	3	SM 6630
Endrin	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,06	SM 6630
Heptacloro epóxido + Heptacloro	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,003	SM 6630
Lindano	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,2	SM 6630
Metoxicloro	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	2	SM 6630
Pentaclorofenol	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,9	SM 6630
Toxafeno	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,5	SM 6630
2,4,5-T	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,2	EPA 8021
2,4,5-TP	< 0,001	± 3,5%	mg.L <sup>-1</sup>	0,001	1	EPA 8021

**Abreviaturas:**

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida (95% de Confiança) / I.E. metais: sem contemplação da concentração da amostra. Abreviaturas: L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco"/ NA: Não se aplica

Fonte: Laudo (2021).

A lixiviação é um fenômeno que descreve a taxa que os constituintes perigosos ou indesejáveis são removidos de um resíduo por um fluxo de água. Esta concentração determina o efeito do constituinte na vida dos organismos vivos, especialmente dos seres humanos, embora ela não prediga o efeito cumulativo provocado por uma exposição em um longo intervalo de tempo (CAUDURO, 2003).

Quantos aos resultados para o extrato lixiviado nenhum parâmetro ficou acima exigido pela legislação vigente. Os resultados dos ensaios indicam, portanto, que não há risco de lixiviação de contaminantes do lodo de cromo, assegurando que o aproveitamento do resíduo não representa risco de contaminação ambiental relacionado à lixiviação dos elementos analisados.

Segundo Peron (2008) estudos realizados na Inglaterra revelaram que é difícil ocorrer lixiviação significativa do cromo presente em lamas de curtumes, quando são dispostas em aterros sanitários convencionais, uma vez que o cromo, além de estar sob forma trivalente, insolúvel, é passível que fique retido no solo por adsorção.

Porém Peron (2008), em suas análises de lixiviação com lodo de curtume, obteve uma concentração de cromo total de 6,6mg/L acima do valor máximo permitido pela NBR 10005/2004.

### 5.1.2 Solubilização

A solubilização de resíduos sólidos é o processo que tem o intuito de diluir substâncias presentes neles, por meio de lavagem em meio aquoso. O procedimento foi realizado de acordo com a NBR 10.006 – Solubilização de Resíduos – Procedimento, e os ensaios analíticos de acordo com Standard Methods. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados para o extrato solubilizado do resíduo de lodo de cromo

RESULTADOS PARA O EXTRATO SOLUBILIZADO						
Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
Arsênio	< 0,01	± 8,2%	mg As.L <sup>-1</sup>	0,01	0,01	SM 3111
Bário	< 0,50 ±	± 6,0%	mg Ba.L <sup>-1</sup>	0,5	0,7	SM 3500-Ba
Cádmio	0,008	± 0,93%	mg Cd.L <sup>-1</sup>	0,005	0,005	SM 3500-Cd
Chumbo	< 0,005	± 2,5%	mg Pb.L <sup>-1</sup>	0,005	0,01	SM 3500-Pb
Cromo	< 0,05	± 1,0%	mg Cr.L <sup>-1</sup>	0,05	0,05	SM 3500-Cr
Mercúrio	< 0,001	± 10%	mg Hg.L <sup>-1</sup>	0,001	0,001	SM 3111
Prata	< 0,005	± 0,93%	mg Ag.L <sup>-1</sup>	0,005	0,05	SM 3500-Ag
Selênio	< 0,01	± 6,4%	mg Se.L <sup>-1</sup>	0,01	0,01	SM 3111
Manganês	0,062	± 0,9%	mg Mn.L <sup>-1</sup>	0,005	0,1	SM 3500-Mn
Ferro	0,04	± 0,92%	mg Fe.L <sup>-1</sup>	0,03	0,3	SM 3500-F
Cobre	0,01	± 2,5%	mg Cu.L <sup>-1</sup>	0,005	2	SM 3500-Cu
Alumínio	< 0,02	NE	mg Al.L <sup>-1</sup>	0,02	0,2	ISO 10566 E30
Sódio	1.840,00	± 5,9%	mg Na.L <sup>-1</sup>	5	200	SM 3500-Na/B
Zinco	< 0,005	± 1,0%	mg Zn.L <sup>-1</sup>	0,005	5	SM 3500-Zn
Fluoretos	10,7	± 4,9%	mg F.L <sup>-1</sup>	0,1	1,5	SM 4500-F /D
Cianeto	< 0,01	± 1,2%	mg CN.L <sup>-1</sup>	0,01	0,07	SM 4500-CN /E
Fenol	0,17	± 0,38%	mg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH.L <sup>-1</sup>	0,01	0,01	SM 6420
Cloreto	363,8	± 2,6%	mg Cl.L <sup>-1</sup>	5	250	SM 4500-Cl /B
Sulfato	1.220,00	± 0,35%	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .L <sup>-1</sup>	5	250	SM 4500-SO /E
Nitrato	< 1,0	± 2,3%	mg NO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>	1	10	IAL/4ª edição
Surfactantes	4,3	± 6,1%	mg MBAS	0,2	0,5	SM 5540
Dureza	3.478,60	± 0,32%	mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>	5	250	SM 2340/C
Sólidos Dissolvidos Totais	4.736,60	± 1,1%	mg.L <sup>-1</sup>	10	-	SM 2540/C
pH	8	0,12 UpH	U Ph	0,1	-	SM 4500-H /B
Cor	303	± 5,8%	UC	2	-	SM 2120/F
Turbidez	9,5	±0,26 NTU	NTU	0,5	-	SM 2130
Sólidos Totais	4.819,90	± 1,2%	mg.L <sup>-1</sup>	10	-	SM 2540/B

**Abreviaturas:**

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida (95% de Confiança) / I.E. metais: sem contemplação da concentração da amostra. Abreviaturas: L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco"/ NA: Não se aplica

Fonte: Laudo (2021).

Dentre os parâmetros apresentados no extrato solubilizado que obtiveram valor maior que o valor de referência o pela legislação vigente foi Cádmio, sódio, Fluoretos, Fenol, Cloretos, Sulfato, Surfactantes e Dureza, os quais podem estar relacionados aos produtos auxiliares utilizados no processo de curtimento. Em relação ao Cromo este ficou entre o limite estabelecido.

Peron (2008), também obteve concentrações máximos permitidos pela norma em relação a solubilização, para alumínio, cloreto, cromo total com uma concentração de 0,90mg/L, fenóis totais, ferro, fluoreto, manganês, sódio e sulfato.

A partir destes resultados podemos considerar o resíduo em questão analisado como Classe I (NBR 100004:2004).

Os resultados dos ensaios de solubilização indicam, portanto, a necessidade de avaliar o comportamento destes elementos quando misturados aos demais componentes da matriz cimentícia do bloco, uma vez que a interação entre o rejeito e demais materiais como cimento pode favorecer a retenção dos elementos contaminantes, impedindo a sua solubilização (BELOTTI, 2019).

### 5.1.3 Avaliação Química

A avaliação química dos resíduos visa identificar e quantificar os elementos químicos presente na amostra, assim caracterizando quanto a sua toxicidade, além de analisar danos ambientais futuros, caso este resíduo entre em contato com o meio ambiente ou seres humanos.

A caracterização da massa bruta do resíduo de cromo pode ser observada na Tabela 12 a seguir.

Tabela 12 - Resultados para a massa bruta do resíduo de lodo de cromo

RESULTADOS PARA A MASSA BRUTA						
Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
pH	8	0,12 UpH	U pH	0,1	2,0 a 12,5	SM 4500-H /B
Densidade	0,84	NE	g.mL <sup>-1</sup>	0,1	-	Gravimetria
Carbono Orgânico Total	5,95	± 4,7%	%	0,1	-	SM 5310/C
Cádmio	1,9	± 0,93%	mg Cd.kg <sup>-1</sup>	0,5	-	EPA 7000B
Chumbo	3,68	± 2,5%	mg Pb.kg <sup>-1</sup>	0,5	-	EPA 7000B
<b>Cromo</b>	<b>181,25</b>	<b>± 1,0%</b>	<b>mg Cr.kg<sup>-1</sup></b>	<b>0,5</b>	<b>100</b>	<b>EPA 7000B</b>
Mercúrio	< 10,0	± 10%	mg Hg.kg <sup>-1</sup>	10	100	SM 3111
Sulfetos	< 0,50	± 4,7%	mg H S .kg <sup>-1</sup>	0,5	500	Fotométrico
Cianetos	< 10,0	± 1,2%	mg CN.kg <sup>-1</sup>	10	250	Fotométrico
Arsênio	41,5	± 8,2%	mg As.kg <sup>-1</sup>	10	1000	EPA 7000B
Estanho	< 10,0	NE	mg Sn.kg <sup>-1</sup>	10	-	EPA 7000B
Zinco	8,1	± 1,0%	mg Zn.kg <sup>-1</sup>	1	-	EPA 7000B
Níquel	5,3	± 0,93%	mg Sn.kg <sup>-1</sup>	0,5	-	EPA 7000B
Selênio	< 10,0	± 6,4%	mg Se.kg <sup>-1</sup>	10	100	SM 3500-Se
Prata	4,3	± 0,93%	mg Ag.kg <sup>-1</sup>	0,5	-	SM 3500-Ag
Antimônio	37,4	± 1,9%	mg Sb.kg <sup>-1</sup>	10	1000	EPA 7000B
Vanádio	397,1	± 1,9%	mg V.kg <sup>-1</sup>	10	1000	EPA 7000B
Bário	317,9	± 6,0%	mg Ba.kg <sup>-1</sup>	10	-	EPA 7000B
Cobalto	8,67	± 0,89%	mg Co.kg <sup>-1</sup>	0,5	1000	EPA 7000B
Berílio	< 10,0	NE	mg Be.kg <sup>-1</sup>	10	100	EPA 7000B
Sólidos Totais	79,9	± 1,2%	%	0,1	-	SM 2540/G
Benzeno	< 0,01	±0,31%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,01	-	EPA 3890
Tolueno	< 0,01	±0,64%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,01	-	EPA 3890
Etilbenzeno	< 0,01	±0,91%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,01	-	EPA 3890
m/p xilenos	< 0,01	±1,6%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,01	-	EPA 3890
o-xilenos	< 0,01	±6,4%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,01	-	EPA 3890
Fenol	0,9	± 0,38%	mg.kg <sup>-1</sup>	0,01	0,5	EPA 3890
Formaldeído	Ausente	NE	mg.kg <sup>-1</sup>	-	ausência	EPA 624

**Abreviaturas:**

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida (95% de Confiança) / I.E. metais: sem contemplação da concentração da amostra. Abreviaturas: L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco"/ NA: Não se aplica

Fonte: Laudo (2021).

A caracterização da massa bruta do resíduo analisou 28 parâmetros, dentre os quais o cromo foi o único que excedeu o valor máximo permitido a 100mg, sendo identificado cerca de 181,25mg na amostra. No trabalho realizado por (Mella, 2013), encontrou uma concentração de 2000 mg Cr/L de cromo total na amostra examinada, esta variação da concentração de cromo, é fruto do processo do processo utilizado em cada empresa. Estas altas concentrações de cromo era esperado, por se tratar unicamente de um resíduo do processo de curtimento o qual utiliza sais de cromo.

A alta concentração de cromo encontrada na amostra representa um risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, além de riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada (NUNES, 2012).

#### 5.1.4 Patogenicidade para Massa Bruta

Um resíduo é caracterizado como patogênico quando em uma amostra representativa contiver microrganismos patogênicos, proteínas virais, ácido desoxirribonucleico (ADN) ou ácido ribonucleico (ARN), organismos geneticamente modificados, plasmídeos, cloroplastos, mitocôndrias ou toxinas capazes de produzir doenças em homens, animais ou vegetais. Agente patogênico é um organismo capaz de produzir doenças infecciosas aos seus hospedeiros sempre que estejam em circunstâncias favoráveis, inclusive do meio ambiente (ABNT NBR 10004:2004). A patogenicidade para a massa bruta do resíduo de cromo pode ser observada na Tabela 13.

Tabela 13 - Patogenicidade para massa bruta do resíduo de lodo de cromo

PATOGENICIDADE PARA MASSA BRUTA						
Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método
Coliformes Termotolerantes	< 10	± 2,0%	UFC/g	10	-	SM 9225
Salmonella spp	< 10	± 6,8%	UFC/10g	10	-	SM 9260/B
Vírus Entéricos*	< 1	NE	UFF/g	1	**	Imunocromatografia

**Abreviaturas:**

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida (95% de Confiança) / I.E. metais: sem contemplação da concentração da amostra. Abreviaturas: L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco"/ NA: Não se aplica

Fonte: Laudo (2021).

\*Vírus pesquisados: Adenovírus, Rotavírus e vírus do gênero Enterovírus

\*\* de acordo com a Norma ABNT NBR 10.004/04 a presença de vírus indica patogenicidade.

Valores de referência CONAMA 375 de 29 de agosto de 2006:

Tipos de lodo ou produto derivado	Concentração de patógenos
Tipo A	Coliformes Termotolerantes < 10 <sup>3</sup> NMP/g Salmonella ausência em 10g
Tipo B	Coliformes Termotolerantes < 10 <sup>6</sup> NMP/g

A amostra analisada atende a Norma NBR 10.004, por não apresentar suspeita de conter microrganismos patogênicos, proteínas virais, plasmídeos ou outro organismo. Pois apresentou resultados para coliformes termotolerantes e salmonela spp menores que 10 e vírus entéricos menor que 1, conforme a legislação vigente.

### 5.1.5 Ecotoxicidade para o Extrato Solubilizado

Segundo a ABNT NBR 10004:2004, a toxicidade é uma propriedade do agente tóxico, que em contato com o organismo provoca um efeito adverso, devido a sua interação por inalação, ingestão ou absorção cutânea. Os resultados são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Ecotoxicidade para o Extrato Solubilizado do resíduo de lodo de cromo

ECOTOXICIDADE PARA O EXTRATO SOLUBILIZADO							
Parâmetro	Resultado	I.E.	Unidade	L.Q.	V.M.P.	Método	
Toxicidade Aguda com Vibrio fischer	16	±5%	FTb	1	-	ABNT NBR 15411-1: 2006	

#### Abreviaturas:

E.A: Erro Analítico ou Tendência ou Desvio / I.E. - Incerteza Expandida (95% de Confiança) / I.E. metais: sem contemplação da concentração da amostra. Abreviaturas: L.Q. Limite de Quantificação / N.E: Não Estabelecida. / V.M.P. Valor Máximo Permitido / N.C. Não Consta. / \* Análises Realizadas "in loco"/ NA: Não se aplica

**FTb = 1** a amostra não apresenta toxicidade aguda. **FTb > 1** a amostra apresenta toxicidade aguda.

Fonte: Laudo (2021).

Como já visto na análise do extrato solubilizado, o qual apresentou concentração superiores a legislação para Cádmiu, Sódio, Fluoretos, Fenol, Cloretos, Sulfato, Surfactantes e Dureza, estes interferem diretamente o organismo exposto ao extrato.

Como a amostra apresentou  $FTb > 1$ , sendo respectivamente 16 vezes mais que o permitido, este é considerado toxico, ou seja, é classificada como Classe 1 - Perigosa pois não atende a Norma NBR 10.004:2004 por apresentar efeito nocivo decorrente da presença de agente ecotóxico.

Estes elementos como o cromo, podem provocar males a saúde humana, como irritação e ulceração, eczema alérgico, a inalação causa irritação nasal e perfuração do septo, irritação pulmonar, carcinoma broncogênico podem ocorrer pela inalação de pós de cromo, dentre outros problemas (PERON, 2008).

### 5.1.6 Classificação do Resíduo

O resíduo analisado não apresentou nenhum indício de Reatividade, Inflamabilidade, Corrosividade, Patogenicidade e Reatividade para o meio ambiente e saúde pública, segundo a análise de Patogenicidade para massa bruta. Porém, apresentou indício de Periculosidade e Toxicidade a partir da análise de Ecotoxicidade para o Extrato Solubilizado, cerca de 16 vezes mais do que o permitido.

O Extrato Lixiviado atendeu aos parâmetros do Anexo F (NBR 10004:2004), que trata sobre o limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação, porém o Extrato Solubilizado não atendeu aos parâmetros do Anexo G (NBR 10004:2004), pois apresenta concentração de Cádmio, Sódio, Fluoretos, Fenol, Cloreto, Sulfato, Dureza e Surfactantes em desacordo com os critérios estabelecidos. Classificando-se, portanto, como: Classe I – Perigoso/Toxico (ABNT NBR 10.004:2004).

## 5.2 Determinação do Teor de Umidade, Sólidos Voláteis e Fixos

A partir da determinação do teor de água no resíduo coletado foi obtido um percentual de 22% na amostra, resultado semelhante ao encontrado por Peralta (2014), nos estudos de incrementação de lodo de cromo para fabricação de vidro sodo-cálcicos. O teor de água obtido está relacionado ao processo de prensagem do lodo na indústria, que visa a diminuição de peso e volume, consequentemente minimizando os valores da destinação final do resíduo.

Já no processo de incineração das amostras para a determinação de sólidos voláteis e fixos, os valores obtidos podem ser visualizados na Tabela 15.

Tabela 15 - Sólidos Voláteis e Fixos do resíduo de cromo

Cadinho vazio (g)	Amostra (g)	Após a incineração (g)	Sólidos voláteis (%)	Sólidos fixos (%)
46,894	2,071	48,601	36,4	63,6
32,116	2,012	33,8041	32,39	67,61
35,318	2,009	36,9763	35,07	64,93
<b>MÉDIA</b>			34,62	65,38

Fonte: Autoria própria (2021).

Pode-se perceber que grande parte do material presente na amostra é constituído por sólidos voláteis, cerca de 34,62 % do total da amostra. Segundo Peralta (2014), esta perda de massa pode estar relacionada à degradação do colágeno e outras proteínas da matéria orgânica presente no resíduo (LAURENTI, 2007), as quais entre as temperaturas de 220 e 420 °C.

No trabalho realizado por Peralta (2014), o qual utilizou lodo de cromo de diferentes lugares, foram obtidos diferentes valores de perda ao fogo, os quais ele descreve que pode estar relacionado à presença de diferentes teores de matéria orgânica, assim como aos diferentes insumos utilizados nos processo de fabricação do couro e tratamento de efluentes, além da presença de corpos estranhos, tais como resto de papel, plásticos e tecido, os quais são inseridos nos lodos de cromo durante o período que permanecem armazenados até sua destinação final

em aterro. A partir dos 400 até 1000 °C o material continua a perder massa provavelmente devido à queima de material carbonoso residual.

Segundo pesquisas realizadas por Peralta (2014), a incineração de resíduos sólidos perigosos é realizada normalmente a temperaturas acima de 800 °C, porém o aumento de temperatura em condições oxidantes favorece a formação de Cr (VI), assim a temperatura ideal que deveria ter sido utilizado no trabalho suficiente para decompor grande parte da matéria orgânica era de 800 °C, a utilização da queima do resíduo na temperatura de 550 °C no referido trabalho, talvez não foi o suficiente para a eliminação total da matéria orgânica, assim podendo interferir na resistência dos corpos de prova.

### 5.3 Teste de Inspeção Visual

A partir da análise de inspeção visual, foi possível perceber algumas falhas nos corpos de prova, como trincas, alguns furos devido à má compactação das amostras, um corte na vertical devido a desforma bloco, além de descamação e laminação, estes defeitos podem ser observados nas figuras a seguir (Figuras 23, 24, 25, 26, 27 e 28).

Figura 23 - Análise de Inspeção Visual (1)



Fonte: Aatoria própria (2021).

Figura 24 - Análise de Inspeção Visual (2)



Fonte: Aatoria própria (2021).

Figura 25 - Análise de Inspeção Visual (3)



Fonte: Aatoria própria (2021).

Figura 26 - Análise de Inspeção Visual (4)



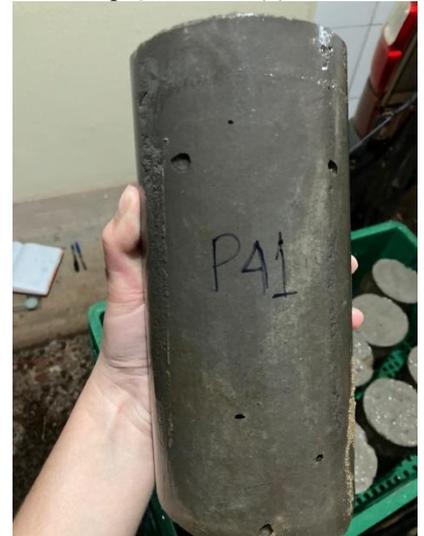
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 27 - Análise de Inspeção Visual (5)



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 28 - Análise de Inspeção Visual (6)



Fonte: Autoria própria (2021).

Segundo o Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais (2014), os blocos devem ser homogêneos e compactos, não quebrar com facilidade, não apresentar trincas, fraturas ou outros defeitos que possam afetar a resistência e a durabilidade da construção, não sendo permitido qualquer reparo que oculte defeitos eventualmente existentes no bloco.

Os defeitos superficiais e degradações, as quais consistem no aparecimento de fissuras, desgastes, quebra dos blocos, afundamento, ondulações e depressão, são em geral os principais problemas relacionados com a falta de manutenção ou manutenção incorreta dos corpos de prova de concreto (GODINHO, 2009).

Foi analisado um conjunto de corpo de prova de 24 amostras, seis de cada tratamento e todos apresentaram algum tipo de defeito, além de pequenas variações de coloração, em virtude do processo de fabricação e da variação de quantidade de lodo de cromo utilizado em cada tratamento.

Segundo a ABNT NBR 6136:2016, se os resultados da inspeção visual ocasionarem a rejeição de mais de 10% dos blocos do lote, este deve ser rejeitado em sua totalidade. Blocos com defeitos podem causar danos a obra, colocando em risco a estrutura pela presença de defeitos, assim afetando a percepção de segurança, podendo causar intervenções para reforço ou demolição do imóvel (FILHO, 2014).

Segundo Filho (2014), uma das formas de analisar se há resistência do concreto é avaliando o controle das deformações. Um dos sintomas mais comuns e visíveis consiste na ocorrência de fissuras, as quais geram perda de integridade do concreto. As fissuras podem ser

definidas como pequena abertura induzidas pela ação de forças que provocam o aparecimento de tensões de tração que superam a capacidade resistente do material componente da estrutura.

Contudo, vários são os defeitos que ocorrem nos corpos de prova, podendo interferir na sua resistência final. Muitos desses defeitos são ocasionados na moldagem e alguns dificilmente são corrigidos. Como exemplo as falhas de adensamento que podem gerar grandes vazios no concreto (QUIRINO, 2018).

Em uma construção se os resultados dos ensaios com os blocos não atenderem o exigido pela ABNT NBR 6136:2016, o lote deve ser reprovado. Se ainda não foi aplicado à alvenaria, o lote deve ser inteiramente substituído, evitando assim que peças com defeitos prejudiquem o assentamento e o desempenho estrutural e a estética do bloco.

#### 5.4 Teste de Resistência à Compressão

Os corpos de prova fabricados, segundo a ABNT NBR 9781:2013 deveriam ser submetidos ao ensaio de compressão após 28 dias de cura. Entretanto, estes foram tirados da cura com 24 dias para serem retificados e ensaiados com 28 dias. Neste intervalo de 4 dias entre cada etapa os blocos deveriam ter ficados imersos em água, porém como o ensaio teve que ser realizados por terceiros devido a pandemia e ao acesso aos laboratórios as amostras não foram submersa em água.

A NBR 5739:1994 determina um tempo de tolerância para a realização do ensaio após o período de cura e este não foi cumprido conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 - Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade

<b>Idade de ensaio</b>	<b>Tolerância permitida</b>
24 h	± 30 min ou 2,1%
3 d	± 2 h ou 2,8%
7 d	± 6 h ou 3,6%
28 d	± 20 h ou 3,0%
60 d	± 36 h ou 2,5%
90 d	± 2 d ou 2,2%

Fonte: ABNT NBR 5739/1994.

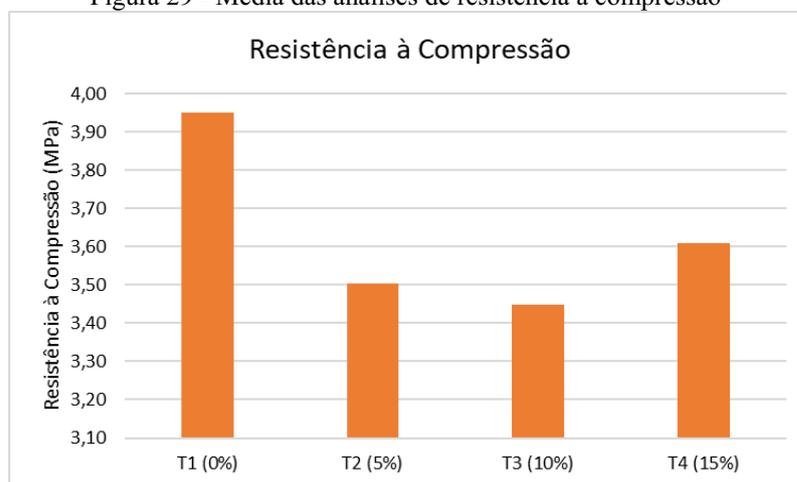
Os resultados da análise de compressão após 28 dias de cura podem ser visualizados na Tabela 17 e na Figura 29.

Tabela 17 - Resultados dos testes a compressão com 28 dias de cura

<b>Tratamento</b>	<b>T1 (0%)</b>	<b>T2 (5%)</b>	<b>T3 (10%)</b>	<b>T4 (15%)</b>
CP1 (MPa)	3,58	3,47	3,56	3,55
CP2 (MPa)	4,06	3,71	2,78	3,61
CP3 (MPa)	4,07	3,48	3,59	3,57
CP4 (MPa)	4,04	3,07	3,56	3,69
CP5 (MPa)	3,75	3,79	3,53	3,7
CP6 (MPa)	4,21	3,51	3,67	3,54
<b>Média (MPa)</b>	<b>3,95</b>	<b>3,51</b>	<b>3,45</b>	<b>3,61</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,24</b>	<b>0,25</b>	<b>0,33</b>	<b>0,07</b>

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 29 - Média das análises de resistência à compressão



Fonte: Autoria própria (2021).

Os testes de resistência às compressões realizados têm como objetivo verificar a carga de ruptura dos corpos de provas, para que assim conseguíssemos determinar em quais classes estes se enquadram. Verificando os resultados, pode-se constatar que o T1, sem adição de lodo de cromo obteve maior resistência que os demais tratamentos, porém todos obtiveram resistência a compressão maior que 3 Mpa, assim estes, estão aptos para as classes C.

- Classe C  $\geq$  3,00 MPa, com ou sem função estrutural, para uso acima do nível do solo.

Percebe-se que as resistências não obtiveram valores elevados, isso se deve ao seu grau de compactação dos corpos de provas fabricados, pois sabe-se que quanto menos vazios presentes maior será a resistência à compressão. Além disso é possível visualizar na análise de inspeção visual que os corpos ficaram com furos devido o mal assentamento e a falta de mesa vibradora, também tiveram algumas trincas, dentre outros aspectos que diminuem a resistência.

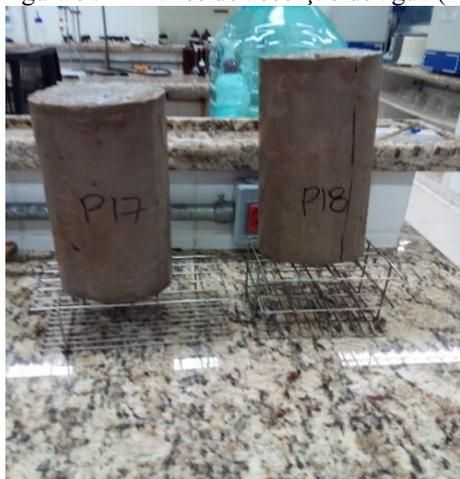
Com a adição do lodo de cromo pode-se perceber um decaimento na resistência nos tratamentos T2 (5%) e T3 (10%), em relação ao tratamento T1(0%), assim demonstrando que a substituição do lodo pelo cimento Portland V de alta resistência inicial interferi-o no processo de pega dos materiais, porém no tratamento T4 (15%), que apresentou maior volume de adição de lodo, o valor da resistência aumentou novamente. Do tratamento T1(0%) para T2 (5%), tivemos um decréscimo na resistência de 11%. Peron (2008) realizou testes com lodo de curtume, onde obteve um decréscimo de 35% já na primeira amostra com o lodo agregado. Barreto (2016), com apenas 2% de lodo teve uma queda de 17% em sua resistência em relação ao corpo de prova em branco. O decréscimo da resistência segundo Barreto (2016), pode estar relacionado a composição do resíduo, pois possui alta quantidade de matéria orgânica.

Visando a substituição do cimento por lodo de cromo, é possível verificar que, pode ser substituído para a fabricação de blocos na Classe C (com ou sem função estrutural, com resistência acima de 3MPa), assim, a empresa Bombonato Couros diminuiria seus custos com destinação final do resíduo. Atualmente a empresa gera em torno de 14 toneladas de resíduo de lodo mensalmente, gerando um custo de aproximadamente R\$ 4 mil/mês, o qual poderia ser evitado, acaso fosse incrementado para a fabricação de blocos.

## 5.5 Análise de Absorção de Água

A absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido a penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco. Após o ensaio e a saturação das amostras Figura (30 e 31) obtivemos os valores de absorção de água.

Figura 30 - Análise de absorção de água (1)



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 31 - Análise de absorção de água (2)



Fonte: Autoria própria (2021).

Os valores resultantes dos ensaios de absorção de água são apresentados na Tabela 18, para os 4 tipos de tratamento analisados e podem ser visualizados na Figura 32.

Tabela 18 - Absorção de água dos corpos de prova

TRATAMENTO	M1 (g)	M2 (g)	A (%)	Média (%)	Desvio Padrão
T1 - CP1	3450	3580	3,77	4,524	0,65
T1 - CP2	3460	3630	4,91		
T1 - CP3	3170	3325	4,89		
T2 - CP1	3280	3425	4,42	4,499	0,45
T2 - CP2	3310	3475	4,98		
T2 - CP3	3300	3435	4,09		
T3 - CP1	3229	3390	4,99	4,448	0,73
T3 - CP2	3315	3435	3,62		
T3 - CP3	3399	3560	4,74		
T4 - CP1	3220	3350	4,04	4,402	0,72
T4 - CP2	3300	3430	3,94		
T4 - CP3	3098	3260	5,23		

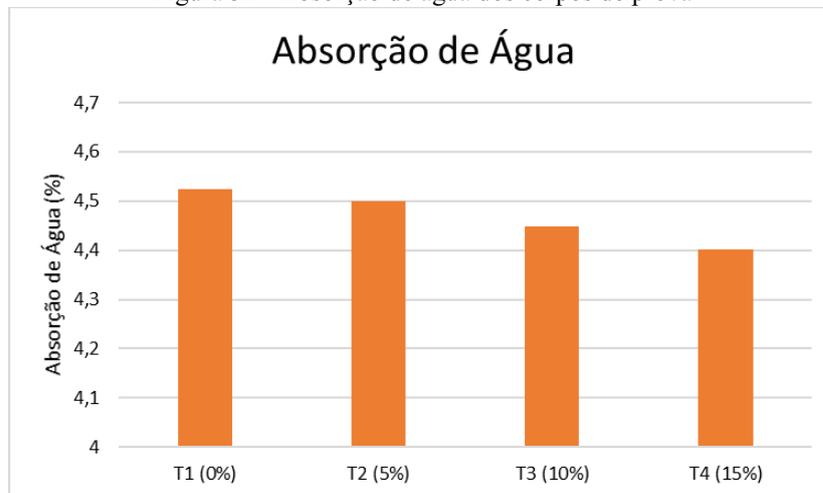
A = Absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

m1 = Massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m2 = Massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 32 - Absorção de água dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2021).

Mediante os dados da Tabela 22, verificou-se que a média do teor de absorção dos corpos de prova foi de 4% em relação ao corpo de prova seco. Absorção de água no corpo de prova está ligada aos espaços vazios presente no mesmo, assim quanto maiores espaços vazios maior será absorção de água, a qual está relacionada com o assentamento das partículas no concreto. Com relação às peças de concreto em que se introduziram determinadas porcentagens de lodo a menor taxa de absorção foi o tratamento T4 (15%), seguido o tratamento T3 (10%) e

por último o tratamento T2 (5%), assim percebeu-se que quanto maior a quantidade de lodo menor a absorção de água pelo corpo de prova.

A penetração e movimentação de água no concreto é função da quantidade, forma, distribuição e dimensões dos poros do concreto (MEHTA, 1994). Na Tabela 19, são apresentados os limites de absorção, prescritos pela NBR 6136/2016.

Tabela 19 - Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial <sup>a</sup> MPa	Absorção (%)			
			Agregado normal <sup>b</sup>		Agregado leve <sup>c</sup>	
			Individual	Média	Individual	Média
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$
	B	$4,0 \leq f_{bk} \leq 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$		
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$		

<sup>a</sup> Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.  
<sup>b</sup> Blocos fabricados com agregado normal (ver definição na ABNT NBR 9935).  
<sup>c</sup> Blocos fabricados com agregado leve (ver definição na ABNT NBR 9935)

Fonte: ABNT NBR 6136/2016.

Ambos os blocos, convencional ou com resíduos, apresentaram comportamento de absorção semelhante. Além disso, de acordo com a NBR 6136 (2016), em que é estabelecida a taxa máxima de absorção, individual e média, equivalente a 11% e 10%, nessa ordem, conclui-se que os dois tipos de blocos estudados estão em conformidade com a legislação vigente.

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos no referido trabalho, pode-se concluir que é possível encapsular o resíduo de lodo de cromo oriundo do processo de curtimento em matriz cimentícia, na produção de blocos de concreto de classe C, com o sem função estrutural para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo, com resistência no mínimo de 3 Mpa.

Quanto a caracterização do lodo de cromo, este é classificado com Classe I (ABNT NBR 10004:2004) devido ao nível elevado de metais pesados e uma alta quantidade de cromo contidos no mesmo identificado na caracterização química.

Apesar do resíduo apresentar 34,62% de matéria orgânica, este resultado possivelmente não interferiu nas resistências do corpo de prova, pois a maior resistência entre os 3 tratamentos que utilizaram lodo de cromo em sua composição, foi o T4, o qual possui 15% de lodo de cromo em cima do Cimento Portland V- ARI, a maior concentração utilizada.

O baixo valor de resistência pode estar relacionado com os resultados obtidos na análise de inspeção visual. A partir dela é possível perceber furos devido a má compactação das amostras, um corte na vertical devido a desforma bloco, além de outros defeitos. Segundo a ABNT NBR 6136:2016, caso os resultados da inspeção visual ocasionarem à rejeição de mais de 10% dos blocos do lote, este deve ser rejeitado em sua totalidade.

Referente a absorção de água pelas amostras, estas apresentaram valores semelhantes, porém quanto maior a quantidade de lodo menos absorção havia. Verificou-se que a média do teor de absorção dos corpos de prova foi de 4%, assim ficando bem abaixo do valor máximo permitido pela NBR 6136:2016 que é de 10%, assim concluindo que os 4 tratamentos encontram-se em conformidade com a legislação vigente.

Com os ensaios e procedimentos realizados o encapsulamento do cromo na matriz de cimento é considerado viável, pois este diminuiria custos de destinação a empresa, assim tornando um passivo em ativo ambiental, impactando positivamente no meio ambiente.

Para trabalhos futuros sugere-se o aumento da quantidade de lodo de cromo, além da realização de ensaios solubilidade e lixiviação dos corpos de prova de concreto, queima do resíduo a temperatura de 800°C, estudo da adição do resíduo com outros tipos de cimento disponíveis no mercado e em diferentes traços.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, V. C.; CULTRI, C.; BARBOSA, A. S. **Resíduos industriais perigosos: prospecções qualitativas para o uso do free cromo na cadeia produtiva coureiro-calçadista**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008, Bauru. Anais... Bauru, 2008. Disponível em: < <https://simpep.feb.unesp.br/>>. Acesso em: 01 de ago. 2021.
- ALMEIDA, L. F. S.; ANACLETO, M. G.; COSTA, W. A. C. **Estudo da viabilidade da utilização de lodo de ETA em blocos vazados de concreto por meio da avaliação de propriedades mecânicas e acústica**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.
- AÏTCIN, P. C. **High-Performance Concrete**. Quebec: E&FN Spon, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 5733: **Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 5738: **Concreto — Procedimento para Moldagem e Cura De Corpos de Prova**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 5739: **Concreto — Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7680-1: **Concreto — Extração, Preparo, Ensaio e Análise de Testemunhos de Estruturas de Concreto. Parte 1: Resistência à Compressão Axial**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 9781: **Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação e Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 10004: **Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 10005: **Lixiviação de Resíduos– Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 10007: **Amostragem de Resíduos – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7225: **Materiais de pedra e agregados naturais**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 4 p.

ABREU, M. A. **Reciclagem do resíduo de cromo da indústria do curtume como pigmentos cerâmicos**. Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de doutor em engenharia de materiais. São Paulo, 2006.

ABREU, M. A.; TOFFOLI, S. M. **Caracterização de resíduo de cromo para fins de reciclagem na Indústria Cerâmica**. Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica (em CD-ROM), João Pessoa, Brasil, 2003, p. 725-39.

AMARAL, C. V. **Aplicação do Protocolo de Avaliação de Resíduos Solidificados aos Lodos de Galvanoplastia (Metais Cromo e Zinco), incorporados em Matrizes de Cimento Portland**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2001.

AVELAR, W. E. P; ROMA, F; LONGO, L. L. Poluição por metais pesados na bacia do rio Sapucaí-Mirim (NE do estado de São Paulo, Brasil), pela Indústria do Couro. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Ribeirão Preto (SP), v. 40, n.1, p. 205 – 2012, mar. 1997.

BARRETO, E. P. **Estabilização por solidificação**. Trabalho apresentado no curso de Controle de Poluição nas Indústrias Químicas, Departamento de Engenharia Química (USP), São Paulo, 2004.

BARRETO, B. C. **Encapsulamento de Lodo de Curtume com Cromo em Concreto não Estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campo Mourão, 2016.

BASEGIO, T. et al. Environmental and technique of the utilization of tannery sludge as a raw material for clay products. **Journal of the European Ceramic Society**. v. 22, n. 13, p. 2251 – 2259, 2002.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2006. Disponível em: <<https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2021.

BELOTTI, F. M. Et al. **Lixiviação e Solubilização de Elementos Contaminantes de Rejeito de Flotação de Minério de Ferro – Análise para Aproveitamento do Rejeito em Pavimentação Asfáltica**. 10FIRS - Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. João Pessoa, 2019.

BLOWES, D. Tracking hexavalent Cr in groundwater. **Science**, v. 295, p. 2024-2025, mar. 2002.

**BOMBONATTO COUROS**. Meio Ambiente. Toledo, 2019. Disponível em: <<https://bombonattocouros.com.br/meio-ambiente/>>. Acesso em: 01 ago, 2021.

BRESOLIN, G. **Influência das Técnicas de Cura na Resistência do Concreto e Análise da Incorporação de Cal Hidratada na Técnica de Cura por Aspersão Periódica de Água.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário - UNIVATES. Lajeado, 2016.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais.** São Paulo, CESTESB, 1979. 764p.

**BRASIL.** Ministério do Meio Ambiente. Portaria no 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

CAUDURO, F. **Avaliação Experimental de Procedimentos de Lixiviação de Resíduos.** Dissertação apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2003.

CENTRO DAS INDÚSTRIAS DE CURTUMES DO BRASIL – CICB, 2021.

**Cimento.Org.** CP V-ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial. 2010. Disponível em: <<https://cimento.org/cp-v-ari-cimento-portland-de-alta-resistencia-inicial/>>. Acesso em: 01 ago, 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Resíduos de Curtumes.** São Paulo, 1980.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Guia Técnico Ambiental de Curtumes.** São Paulo, 2015. 118 p.

ELLIS, A. S; JOHNSON, T. M; BULLEN, T. D. Chromium isotopes and the fate of hexavalente chromium in the environment. **Science**, v. 295, p. 2060-2062, mar. 2002.

FABIANI, C.; RUISCIO, F.; SPADONI, M.; PIZZICHINI, M. **Chromium (III) Salts Recovery from Tannery Wastewaters.** *Desalination*, v. 108, n.1/3, 1997. p. 183-191.

FILHO, L. C. P. da S; HELENE, P. **Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência e Fissuração.** *Revista Concreto: Ciência e Tecnologia*, 2014. Disponível em: <<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc54.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2021.

FORSTER, J; GROSS, N. Knowing when to get the chrome out. **Business Week**. New York, n. 3775, p. 99-108, 2002.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Guia técnico Ambiental do setor de curtumes.** Belo Horizonte: Feam, p. 58, 2018.

Gard, C. M; Snaveley, C. A; Lemon, D. J. Design and Operation of a Metal Wastes Treatment Plant. *Sewage and Industrial Wastes*, v. 23, n. 11, pp.1429-38, 1951.

GERHARTZ, W. **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry: Chromium Compounds**. Weinheim: VHC, 1985. p. 67-97. v. A7.

GODINHO, D. P. **Pavimento intertravado: uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade**. 2009. 157 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente construído e patrimônio sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

HOINACKI, E. **Peles e Couros: origens, defeitos e industrialização**. 2ª Ed. Porto Alegre. SENAI, 1989.

JOST, P.T. **Tratamento de Efluente de Curtume**. Rio de Janeiro, CNI, 185p, 1995.

JARFEL. Blocos de Concreto. Empresa Jarfel – Montagem de máquinas e equipamentos industriais LTDA. Mogi das Cruzes, 2021. Disponível em: < [https://www.sahara.com.br/pdf-sahara-tecnologia/tipos-de-blocos-novo\\_jarfel1.pdf](https://www.sahara.com.br/pdf-sahara-tecnologia/tipos-de-blocos-novo_jarfel1.pdf)>. Acesso em: 01 ago. 2021.

LAURENTI, K. C. Avaliação da presença de gordura em tecido muscular e carnes usando DTA e TG. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos – Faculdade de medicina de Riberão Preto – Instituto de química de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.

LOYAUX, L. S. Et al. Trapping of Cr by formation of ferrihydrite during the reduction of chromate ions by Fe(II)-Fe(III) hydroxysalt green rusts. *Environmental Science e Technology*, v.34, n.3, p. 438-443, 2000.

MAKDISI, R. S. Tannery wastes definition, risk assessment and cleanup options, Berkeley, California. **Journal of Hazardous Materials**, n. 29, p. 79-96, 1992.

MACHADO, M. ALEXANDRE; SCHLOSER, D. JAMES; VILLATORE, MAURÍCIO. **Comparativo entre Retílicas de Corpos-de-Prova de Concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Concreto. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba, 2012.

MANZIONE, L. Projeto e execução de alvenaria estrutural. 1ª. ed. São Paulo: O nome da Rosa Editora Ltda. 2004. 116p.

MELLA, B. **Remoção de Cromo de Banhos Resíduos de Curtimento Através de Precipitação Química e Eletrocoagulação**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

NUNES, R de M; OLIVEIRA, R. M S; BENINI, S. M. **Avaliação do Risco do Cromo Presente no Lodo de Indústrias de Curtume**. VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 12, 2012, p. 222-233.

OLIVEIRA, L. T. **Incorporação de Resíduo de Curtume em Artefatos Cerâmicos – Uma alternativa para redução de Passivos Ambientais**. Dissertação (Mestrado) em Tecnologias Ambientais na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2008.

OTHMER, K. **Encyclopedia of Chemical Technology**: Chromium alloys and chromium compounds. Wiley-Interscience, 1992. p. 228-311. v. 6.

PACHECO, J. W. F. **Curtumes**. Série P + L. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, 2005.

PERALTA, C. M. M; **Uso de um lodo de cromo proveniente da indústria de curtume na fabricação de vidros sodo – cálcicos**. Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo, 2014.

PERON, A. B. **Encapsulamento do cromo proveniente do lodo de curtume, em matrizes de cimento, visando a Resistência mecânica à compressão e os limites de Lixiviação e solubilização**. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2008.

PINTO, C. A. **Estabilização por solidificação em cimento do resíduo do curtimento de couro contendo cromo**. 2001. 90p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001.

QUIRINO, L. M. de O. **Análise comparativa da influência das variáveis: geometria e tipos de regularização de faces, nos resultados dos ensaios de compressão axial**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás. Aparecida de Goiânia, 2018.

RAO, J. R. Et al. Green route for the utilization of chrome shavings (chromium-containing solid waste) in tanning industry. **Environmental Science e Technology**, Easton, v. 36, n.6, p. 1372-1376, 2002.

REIS, M. X; TEIXEIRA, L. A. **Remoção de Cromo de Efluentes por Redução com Peróxido de Hidrogênio e Precipitação de Hidróxido**. VI SHMMT I XVIII ENTMME. Rio de Janeiro, 2001.

ROCK, M. L; JAMES, B. R; HELZ, G. R. Hydrogen peroxide effects on chromium oxidation state and solubility in four diverse, chromium-enriched soils. **Environmental Science e Technology**, v. 35, n. 20, p. 4054-4059, 2001.

SANDES, V. de S. **Estudo sobre a qualidade dos blocos de concreto em fábricas de Feira de Santana**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana. 51 f. Feira de Santana, 2008.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Bloco vazado de concreto para alvenaria estrutural – Manual de recebimento e controle**. 2.ed. Belo Horizonte: Sinduscon-MG, 2014.

SHREVE, R. N; BRINK Jr, J. A. **Indústrias de processos químicos**. 4. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1977. 717p.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **Pó de Pedra Granulometria**. Belo Horizonte, 2021. Disponível em: < <https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/mineracao/mineracao-santiago-ltda/produtos/cimento-e-mineracao/po-de-pedra-granulometria/>>. Acesso em 01 ago, 2021.

SOLUÇÃO. para resíduos industriais perigoso da indústria coureiro-calçadista. **Revista Gerenciamento Ambiental**, n. 26, p. 51, 2003.

SURESH, V et al. Na improved product-process for cleaner chrome tanning in leather processing. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, p. 483-491, 2001.

SUNDAR, V.J; RAGHAVA RAO, J; MURALIDHARAN, C. Cleaner chrome tanning – emerging options. **Journal of Cleaner Production**, Central Leather Research Institute, India, v.10, p. 69 – 74, 2002.

TAUIL, C. A. A arte, a história e a técnica da alvenaria estrutural de blocos de concreto. Revista, **Qualidade na Construção**. Ano II, nº 13, 1998.

TAYLOR, M. M. Et al. **Processing of leather waste**: Pilot scale studies on chrome shavings. Part I. Isolation and characterization of protein products and separation of protein products and separation of chrome cake. **JALCA**, v. 93, p. 61-82, 1998.

THORSTENSEN, T. C. **Practical Leather Technology**. Chrome Tanning. New York: Reinhold Book Corporation, 1969. P. 111-135.

VEAZEY, M. V. New technique monitors chromium contamination. **Materials Performance**. Houston, v. 41, n. 5, p. 46-51, may 2002.

WALSH, A. R; O'HALLORAN, J. Chromium speciation in tannery effluent-II. Speciation in the effluent and in a receiving estuary. **Water Research**. v. 30, n. 10, p. 2401-2412, mar 1996.

WATSON, K. S., "Chromium Wastes - Recovery or Treatment?". **Sewage & Industrial Wastes**, v. 25, p. 921-936, 1953.